

2016

PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA
LOS PREDIOS EL TABLÓN Y SANTA BÁRBARA
DE PROPIEDAD DEEMPODUITAMA



Jorge Humberto Acosta L.

Ingeniero Forestal

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES	5
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN	6
3.1. ASPECTOS BIÓTICOS.....	6
3.1.1 Cobertura Vegetal	6
4. ESTABLECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES DE ESPECIES INTRODUCIDAS en los predios de empoduitama.....	12
5. APROVECHAMIENTO FORESTAL.....	13
6. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.....	14
6.1. TRANSFORMACIÓN DE LOS PARAMOS EN LA CORDILLERA ORIENTAL.....	14
6.2. GENERALIDADES DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.....	15
6.3. Definición de factores, tensionantes, limitantes y potenciadores en la restauración.....	16
6.4. CARACTERIZACIÓN DIAGNÓSTICA.....	18
6.5. Características del ecosistema predisturbio - Páramo de la Rusia.....	21
6.6. Acercamiento a la estructura de la vegetación de las áreas adyacentes.....	22
6.7. Inclusión de actores sociales.....	23
7. METAS Y OBJETIVOS.....	24
7.1. META.....	24
7.2. OBJETIVO PRINCIPAL	25
8. ANÁLISIS DE FACTORES TENSIONANTES, LIMITANTES Y POTENCIALIZADORES.....	25
9. ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	26
9.1. NUCLEACIÓN COMO TÉCNICA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	27
9.1.1. Técnica de revegetalización	28

9.1.2. Diseños de módulos de plantación.....	31
9.2. Barreras ecológicas	37
10. RESTAURACIÓN DE HÁBITAT DE LA FAUNA	38
11. RESTAURACIÓN ENFOCADA AL COMPONENTE SUELO.....	39
12. PROGRAMA DE MONITOREO EN UN ÁREA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA 46	
13. PRESUPUESTO.....	¡Error! Marcador no definido.
14. BIBLIOGRAFIA	51

1. INTRODUCCIÓN

La Restauración Ecológica tiene como objetivo restablecer la estructura y la función de los ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos, el propósito es lograr ecosistemas similares a los del predisturbio, lo que podría conllevar a realizar acciones a nivel de suelo, vegetación y fauna que contribuyan a acelerar el proceso de restablecimiento (SER 2004, van Andel & Aronson 2006, Falk *et. al* 2006). Las alteraciones de los ecosistemas son consecuencia de los diferentes tipos de disturbios naturales o antrópicos (White & Jentsch, 2001). En el caso de los disturbios antrópicos se identifican, entre otros los siguientes: disturbios generados por invasión de especies exóticas, incendios forestales, minería a cielo abierto, uso agropecuario y por tala (Barrera y Valdés, 2007). En el caso concreto de la tala en ecosistemas naturales (bosques maduros nativos) se realiza tala selectiva para el aprovechamiento de las especies maderables y tala rasa, donde se elimina toda la cobertura vegetal en pie para efectuar un cambio de uso del suelo hacia sistemas agrícolas, pecuarios, urbanos. Existe otro tipo de tala rasa que es el realizado en el aprovechamiento de las plantaciones forestales de especies exóticas que han sido plantadas con fines comerciales o de conservación.

En el área de propiedad de Empoduitama se presenta una plantación que ha sido originada con fines de protección, donde se tiene previsto un aprovechamiento con el fin de realizar el reemplazo de una plantación de especies exóticas (*Pinus patula Schltdl. & Cham.*, *Cupressus lusitanica* *Eucalyptus globulus*) por un ecosistema de bosque altoandino. En las áreas deforestadas como consecuencia de la tala, podría iniciarse un proceso sucesional que dependería del banco de semillas, que en este caso es el generado por la plantación de especies exóticas (plantación mayor a 20 años), así como de la lluvia de semillas proveniente de los sistemas vecinos. Lo anterior quiere decir que la probabilidad de que por sí solo se forme un sistema de bosque altoandino es muy baja debido a las condiciones generales de la zona. Lo anterior lleva a que se deberían implementar acciones que contribuyan a lograr en un futuro próximo ecosistemas de bosque altoandino con alguna similaridad a los existentes en el pasado.

Por otro lado, las áreas que han sufrido algún tipo de disturbio como es el caso del establecimiento de especies maderables exóticas, se convierten en espacios propicios para el establecimiento de las especies invasoras, caracterizadas por colonizar los ecosistemas degradados con baja o poca biodiversidad y amplios espacios para su fácil propagación (D'Antonio & Hobbie 2005, Hobbs 1991). Actualmente en la región de Duitama hay presencia de especies invasoras como el helecho marranero (*Pteridium aquilinum*) y la mora silvestre (*Rubus* sp.), entre otras. Dichas especies podrían verse favorecidas en invadir las áreas taladas lo que llevaría a generar una desviación de la sucesión hacia el bosque nativo.

Es por esta razón se hace necesario abarcar el tema de la restauración no solo de flora sino también de fauna, identificando los sitios y sus características donde dichas especies están presentes, además de cuáles son las adecuadas teniendo en cuenta las áreas adyacentes y los bosques de referencia.

2. ANTECEDENTES

La reforestación en Colombia ha tenido varios ciclos, los cuales han ido de una etapa inicial en los años 50's, donde se reforestó con fines protectores y ornamentales como ocurrió en los acueductos de Bogotá, Medellín y Cali, donde se plantaron especies introducidas, que permitieron aproximaciones iniciales al proceso de producción industrial. En la década de los 60's, Cartón de Colombia inicia los programas de reforestación industrial para abastecer las necesidades de su empresa, iniciando al mismo tiempo programas de investigación con pinos, cipreses y eucaliptos que han arrojado aportes importantes al desarrollo de este sector en el país (Vásquez 2001).

Con la creación del INDERENA en 1968 y CONIF en 1974 se comenzó por parte del gobierno nacional una fase de desarrollo e investigación forestal en la producción de semillas, material de viveros y plantaciones forestales. El Ministerio de Desarrollo Económico y el sector privado formularon en 1976 "El plan indicativo de pulpa, papel y cartón" que permitió que la reforestación industrial alcanzara las 1.100 ha. /año para abastecer la industria papelera. A comienzos de los años 80 y hasta 1986 se alcanzó el mayor auge de la reforestación en el país, con un promedio de 27.100 ha./año, debido a los incentivos tributarios y fiscales que fueron otorgados a esta actividad económica.

El monocultivo es la práctica de cultivar grandes extensiones de terreno con árboles u otro tipo de plantas de la misma especie. Si bien es una forma eficiente y rentable de cultivo desde una perspectiva mercantil, desde el punto de vista ecológico es desastroso.

La base de todo ecosistema es la diversidad y una práctica como el monocultivo no hace más que quebrantar este principio. Si hay menos diversidad vegetal, también disminuye la animal. Los insectos y animales que antes se alimentaban de otras especies vegetales ahora desaparecen y por ende también sus depredadores. Así, se propagan las plagas que afectan al monocultivo, para controlarlas se realiza la aplicación de pesticidas lo que se traduce en la contaminación del aire, la tierra, y las corrientes hídricas.

Por otra parte el deterioro de los suelos es considerable, debido a la pérdida de la fertilidad, pues se agotan los nutrientes.

El desequilibrio ecológico que genera el monocultivo (además de su innegable y negativo impacto visual en el paisaje) tiene que ver con la alteración que provoca la transición de un sistema diverso, rico, circular, autosuficiente y sustentable hacia un sistema homogéneo, pobre, recto, artificialmente asistido e insostenible

Con la presente propuesta se espera contribuir de manera coherente en los procesos de restauración ecológica que deben darse en la zona de afectación para obtener sistemas sostenibles en el tiempo que contribuyan en el mejoramiento de los bienes y servicios que presentan dichos ecosistemas.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN

3.1. ASPECTOS BIÓTICOS

3.1.1 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal se define como la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado (IGAC, 1994), es decir es el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales (Etter, 1994).

Unidades de vegetación

La vegetación es uno de los elementos del medio más aparente y, en la mayor parte de los casos, uno de los más significativos; por ende la combinación de las especies con ciertas condiciones ambientales dan como resultado las comunidades vegetales. Estas comunidades en el área de influencia han sido objeto de intervenciones progresivas que han generado cambios en su composición original, disminuyendo por tal no solo la diversidad de especies vegetales presentes en ellas si no también las unidades de vegetación originales que las albergaban.

Según IDEAM (2010), el área de influencia directa del proyecto se encuentra clasificada en el capítulo 3 donde se especifica a los bosques, que comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida.

De acuerdo con FAO (2001), esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras formas biológicas naturales, tales como la palma y la guadua. En esta clasificación se especifica las plantaciones forestales que son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras), e Incluye las plantaciones de coníferas o latifoliadas con área mayor a 25 ha.

Tabla 1. Coberturas presentes en el área de acuerdo a Corine Land Cover 2010.

NIVEL					
1	2	3	4	5	6
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales			
3. BOSQUES Y ÁREAS NATURALES	3.1. Bosques	3.1.5. Plantación forestal	3.1.5.1. Plantación de coníferas		

NIVEL					
1	2	3	4	5	6
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.1 herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja		

Se puede mencionar que el área aledaña a la plantación presenta una cobertura vegetal de herbazales denso de tierra firme no arbolado: cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



BIOMAS

Clements en 1916 presento el concepto de Bioma para referirse a comunidades biológicas compuestas por plantas y animales con formas de vida y condiciones ambientales similares que incluían varios estados de desarrollo. Este concepto paulatinamente se fue volviendo más preciso hasta ser relacionado con grandes formaciones vegetales de la Tierra, donde cada bioma se caracterizaría por presentar

unclímax vegetal ó formación vegetal madura y estable en equilibrio con el clima de una región y por ende con la misma fisonomía en todo su territorio.

Sarmiento (2001) menciona que los grandes biomas del mundo son praderas y sabanas, desiertos, tundras, taigas (bosques de coníferas), bosques templados caducifolios, bosques secos tropicales (también caducifolios), bosques lluviosos tropicales (de altura y de bajío) siempreverdes, páramos y punas, biomas eólicos (altas montañas y regiones polares), biomas insulares (altamente endémicos y oligoespecíficos), biomas marinos (neríticos y pelágicos) y el bioma hadal (profundidades oceánicas).

Para Colombia se identifican tres grandes biomas definidos por Walter (1985), como ambientes uniformes pertenecientes a un zonobioma, orobioma o pedobioma: gran bioma del desierto tropical, gran bioma del bosque seco tropical y gran bioma del bosque húmedo tropical. De acuerdo con ciertas características de clima, suelo y vegetación, los tipos de Biomas.

Como cada especie presenta determinados caracteres morfológicos y fisiológicos o adaptaciones para poder sobrevivir en un determinado ambiente, la vegetación inalterada de un lugar es la expresión de dichas adaptaciones; es decir que un conjunto de ecosistemas afines por sus características estructurales y funcionales constituyen un bioma.

Como marco de referencia general la totalidad del área de del *Proyecto* de acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Hernández y Sánchez presentado en 1992, corresponde al bioma denominado: **OROBIOMA ALTO DE LOS ANDES**, que son biomas definidos por la presencia de montañas que cambian el régimen hídrico y forman cinturones o fajas de vegetación de acuerdo con su incremento en altitud y la respectiva disminución de la temperatura (Walter, 1977). Los orobiomas altos: se localizan por encima del límite superior del piso andino (> 2.800 msnm) hasta el nivel de las nieves perpetuas (> 4.500 m). Thourent (1983), también menciona para la cordillera Central, el transecto Los Nevados, con un rango altitudinal de 3.500 a 5.200 msnm, Páramo propiamente dicho: sus límites se extienden entre los 3.500 o 3.600 y los 4.100 msnm. La diversificación comunitaria es máxima y se encuentran casi todos los tipos de vegetación, aunque predominan los frailejonales y los pajonales (Rangel-Ch., 2002).

Tabla2. Clasificación de biomas.

Gran bioma	Bioma	Paisaje geomorfológico	Cobertura de la tierra
Gran bioma del bosque húmedo tropical	Orobioma alto de los Andes	Montaña fluviogravitacional	Áreas agrícolas heterogeneas

PARAMOS EN COLOMBIA Y CORDILLERA ORIENTAL

El páramo es un bioma neotropical que ha sido definido como extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas. Está determinada como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana (Rangel-Ch 2000). Es el ecosistema con mayor irradiación solar del mundo, lo que genera la flora de montaña más rica del planeta.

Cuentan con un suelo cubierto de pajonales, humedales y turberas con presencia de especies particulares como los frailejones. Además, resulta ser un corredor biológico para

la fauna de la región. El oso andino, el cóndor y el puma entre otras especies, habitan a través de un mosaico de páramo y bosques. Tiene un alto nivel de endemismos con aproximadamente 3379 especies de plantas; 70 especies de mamíferos, 154 especies de aves y 90 especies de anfibios (IAvH 2011).

Este ecosistema ofrece importantes funciones ecológicas, una biodiversidad única y un suelo que tiene gran capacidad de fijar el carbono atmosférico, y lo más destacable es su capacidad de retener y almacenar agua, de hecho los páramos dan origen a las cuencas hídricas que nutren a gran parte del país, aportando los servicios de abastecimiento de agua para el 70% de la población de Colombia (IAvH 2011).

La Resolución 0769 de 2002 define a los páramos como ecosistemas de una singular riqueza cultural y biótica, y con un alto grado de especies de flora y fauna endémicas de inmenso valor, que constituyen un factor indispensable para el equilibrio ecosistémico, el manejo de la biodiversidad y del patrimonio natural del país, indica además que los páramos, vienen siendo usados y degradados por actividades antrópicas como el establecimiento de monocultivos, las quemas y la ganadería extensiva, ocasionando compactación y empobrecimiento de suelos, pérdida de materia orgánica, cobertura vegetal y diversidad biológica, erosión y contaminación de suelos y aguas.

En febrero de 2002 se publicó el Programa Nacional para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana, donde describen a estas áreas como: clima tropical frío, que se extiende desde el límite superior del bosque hasta el límite inferior de las nieves, ha dado origen a una variedad de organismos con adaptaciones asombrosas para tolerar las condiciones climáticas extremas y las marcadas diferencias diurnas y nocturnas, este programa tiene por objetivo principal propender por orientar a nivel nacional, regional y local la gestión ambiental en ecosistemas de páramo y adelantar acciones para su manejo sostenible y restauración, mediante la ejecución de los subprogramas como la generación de conocimiento y socialización de información sobre la ecología, la diversidad biológica y el contexto sociocultural en los ecosistemas de páramo, Planificación ambiental del territorio como factor básico para avanzar hacia el manejo ecosistémico sostenible, la restauración ecológica en ecosistemas de páramo, y la identificación, evaluación e implementación de alternativas de manejo y uso sostenible de los ecosistemas de páramo.

Las Corporaciones Autónomas Regionales o de Desarrollo Sostenible y los Grandes Centros Urbanos deberán elaborar un estudio sobre el estado actual de los páramos de su jurisdicción, con base en los lineamientos que para el efecto señale el Ministerio del Medio Ambiente.

De otra parte lo descrito por el informe *Primera Comunicación Nacional (CN1)* de Colombia para la *Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático* realizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2001) determinó que los ecosistemas colombianos más vulnerables a los efectos del cambio climático serían los de alta montaña. Con un aumento proyectado para el 2050 en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional entre 1°C y 2°C; y una variación en la precipitación entre $\pm 15\%$, se espera que el 78% de los nevados y el 56% de los páramos desaparezcan.

En este sentido, no se tratará solamente de la pérdida de la biodiversidad, sino de un problema de seguridad nacional relacionado con la pérdida de buena parte de los bienes y servicios ambientales del país, entre los cuales está principalmente la oferta hídrica de la Nación. (IDEAM, 2001).

A continuación se describe el marco legal que soporta el manejo y protección de estos ecosistemas:

El artículo 8 de la Constitución Política prescribe la obligación del Estado en la protección de las riquezas naturales de la Nación, de igual manera el artículo 79 garantiza a los asociados el derecho colectivo a un medio ambiente sano, señalando a continuación el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, así como conservar las áreas de especial importancia ecológica.

El artículo 80 del mismo cuerpo normativo establece el deber del Estado de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales con el propósito de garantizar su desarrollo sostenible, su conservación y restauración, así como la obligación estatal de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental y exigir la reparación de los daños causados.

El artículo 1 de la Ley 99 de 1993 señala, entre los principios generales ambientales del país que las zonas de páramos y subpáramos, entre otras, son objeto de protección especial.

La Ley 373 de 1997 en su artículo 16 señala la obligación de elaborar y presentar el programa para el uso eficiente del agua, en el cual se deberá precisar que las zonas de páramo, entre otras, deberán adquirirse de manera prioritaria por las autoridades ambientales competentes, de igual manera deberán realizar los estudios necesarios a fin de determinar su verdadera capacidad ambiental e iniciar procesos de recuperación, protección y conservación.

El Decreto 1729 de 2002 en su artículo 4 indica que la ordenación de cuencas se hará teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el carácter de especial protección de las zonas de páramos y subpáramos por ser considerados como áreas de especial importancia ecológica para la conservación, preservación y recuperación de los recursos naturales renovables toda vez que estas constituyen áreas de utilidad pública e interés social, razón por la cual, señala la norma, deben ser objeto de programas y proyectos de conservación, preservación y/o restauración.

En el mes de febrero de 2002 se publicó el *Programa Nacional para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana* cuyo objetivo era propender por la orientación de la gestión ambiental en ecosistemas paramunos así como adelantar acciones para su manejo sostenible y restauración.

La Resolución 0769 de 2002 del Ministerio de Medio Ambiente dicta disposiciones para contribuir en la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos, considerando, entre otros aspectos, que los páramos son ecosistemas de una especial riqueza biótica, con un alto grado de especies de flora y fauna endémicas de gran valor, constituyendo un factor determinante para el equilibrio ecosistémico, el manejo de la biodiversidad y del patrimonio natural del país.

La Resolución 0839 de 2003 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece los términos de referencia para la elaboración del *Estudio sobre el Estado Actual de Páramos* y el *Plan de Manejo Ambiental* de los páramos.

La Resolución 1128 de 2006, modifica, entre otros, del artículo 10 de la Resolución 0839 de 2003.

Los actores que intervienen en la gestión de páramos son el Ministerio de Ambiente, la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales, las Corporaciones Autónomas Regionales, los alcaldes municipales y la Policía Nacional, todos en su calidad de autoridades ambientales dentro del área de su jurisdicción.

Los ecosistemas de páramo, deberían dedicarse a la conservación con el objeto de preservar los recursos hídricos esenciales y el carbono almacenado. Sin embargo, por la presión antrópica sobre la tierra, muchas de estas zonas se han adaptado para la actividad agropecuaria, con la consiguiente pérdida de la estructura del suelo, de retención de agua y carbono por la materia orgánica y alteración de los ciclos biogeoquímicos (García, 2003. tomado de IGAC 1988).

Según IDEAM (2002) y Rangel (2000), se reconoce la siguiente franja altitudinal para las dos áreas del presente estudio:

Páramo propiamente dicho: Rango altitudinal entre 3.500 (3.600m) y 4100m. Temperaturas entre 3 y 6 °C. Se encuentran casi todos los tipos de vegetación, aunque predominan los frailejonales (*Espeletia*), los pajonales (*Calamagrostis*) y los chuscales (*Chusquea tessellata* Munro).

A. PARAMO DE LA RUSIA

Teniendo en cuenta la importancia ecológica del área, es necesario definir su ubicación dentro del Distrito páramos de Boyacá Complejo Guantiva - La Rusia, que se encuentra distribuido en el flanco occidental de la cordillera Oriental entre los 3.100 y 4.280 metros sobre el nivel del mar (msnm). Forma parte de un corredor extenso de páramos y bosques andinos conocidos como el corredor Guantiva – La Rusia, que se extiende en dirección nororiente desde el Santuario de Fauna y Flora (SFF) de Iguaque (Villa de Leyva, Boyacá) hasta las estribaciones del cañón del río Chicamocha (Onzaga, Santander). El SFF Guanentá Alto del Río Fonce también hace parte de este complejo (Moreno *et. al.* 2008).

En el páramo predominan los chuscales (3.600 a 4.200 msnm) representados principalmente por chusque (*Chusquea tessellata* Munro), entremezclados con pajonales de paja ratón (*Calamagrostis effusa* (Kunth) Steud.) y *Agrostis* sp. y frailejonales-rosetales con la presencia de diferentes especies de *Espeletia*, *Espeletiopsis*, *Puya* y *Paepalanthus*.

B. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los predios objeto del presente plan se encuentran ubicados en el municipio de Duitama en la parte nor-oriental del municipio, a una distancia de aproximadamente ocho kilómetros del centro urbano por la vía mirador ruta del mundial, el predio “El Tablón” se localiza en la vereda San Antonio Norte, bajo las coordenadas geográficas N 5° 53.890 W 73 02.188 en un punto medio del área, y el predio “Santa Bárbara” se localiza en la vereda San Antonio Sur, bajo las coordenadas geográficas N5° 53.607 W73 01.862 en un punto medio del área.

4. ESTABLECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES DE ESPECIES INTRODUCIDAS en los predios de empoduitama

Las plantaciones forestales exóticas son aquellas que provienen de un área de distribución natural diferente a los límites del territorio nacional (DAMA, 2004). El establecimiento de especies exóticas es considerado como un agente de cambio y una de las principales amenazas para la conservación de la diversidad biológica a escala global, ya que sus impactos -generalmente irreversibles- pueden ser tan perjudiciales para las especies y los ecosistemas nativos como la pérdida y la degradación del hábitat (Vitousek, 1990). Entre algunos de los efectos negativos de éstas especies, están la alteración de ciclos biogeoquímicos, modificación de procesos de erosión y sedimentación, alteración de la fertilidad de los suelos, reducción o agotamiento de los niveles de agua, alteración de los patrones de drenaje y reducción del reclutamiento de especies nativas (Mack *et al.*, 2000). Por lo cual es necesario buscar alternativas de restauración en los bosques plantados con especies introducidas en los predios de Empoduitama.

Las 33,75 hectáreas plantadas de Pino pátula corresponden a una plantación forestal protectora – productora, establecida por el INDERENA en el año de 1978, dentro del Programa Integrado de Cuencas “PRIDECU” (Pricas 2015), los árboles tienen una distancia de siembra aproximada de 3 x 3,2 m, el diámetro promedio a la altura del pecho oscila entre 10 y 40 cm, siendo el promedio 25 cm, presentan alturas promedio de 15 m., en el recorrido realizado se evidenció la ausencia de manejo silvícola a las dos áreas, vale destacar que el predio Santa Bárbara presenta mayor homogeneidad entre individuos y mejor estado fitosanitario.

La plantación establecida en los predios de Empoduitama no presenta manejo que genera en términos generales las siguientes características:

- ✓ Estabilidad de la masa y riesgo de volcamiento: es la consecuencia de la ausencia de raleos y entresacas de las plantaciones. La densidad de plantación fue muy alta, las primeras intervenciones tendrían que haberse realizado a los 15 años de plantación para el pino y el eucalipto.
- ✓ Acumulación de acículas que impiden la regeneración natural: la realización de raleos habría permitido la entrada de luz y aumentado ligeramente la temperatura de los suelos. El manto de acículas se habría descompuesto y la mineralización habría sido mucho más eficaz. Este fenómeno de descomposición se observa en los claros que se han formado accidentalmente en algunas zonas.
- ✓ Acidificación de suelos: cuando en realidad los suelos de por si son bastante ácidos. En algunas zonas de bosque natural se han detectado suelos tan ácidos como en las zonas de plantación. La descomposición del manto de acículas permite el aumento ligero del pH de los suelos.
- ✓ Pérdida de biodiversidad florística y faunística: el cierre de la masa y la homogeneidad de las plantaciones han “asfixiado” completamente la regeneración natural y actuando como una barrera para la proliferación de especies vegetales y animales.

5. APROVECHAMIENTO FORESTAL

De acuerdo al decreto reglamentario 1753 de 1994, mediante el cual se expiden las licencias ambientales de aprovechamiento de recursos naturales, EMPODUITAMA, a través de Pricas ingeniería S.A.S en el año 2014, presentó el Plan de Aprovechamiento y Manejo Forestal de las 33.7 hectáreas, con el objeto de cumplir con los requisitos exigidos por la autoridad ambiental –CORPOBOYACÁ-, garantizando la sostenibilidad del aprovechamiento y el óptimo rendimiento de las técnicas silvícolas a utilizar.

Los productos forestales no leñosos (PFNL), son aquellos como la leña y los pequeños objetos de madera, las ramas laterales y otras estructuras del árbol que no tiene precio establecido en el mercado, y por lo tanto son desechados por los aserradores, sin embargo en un proyecto de restauración se debe hacer uso eficiente de todos los elementos que puedan aportar algún tipo de beneficio bien sea para el suelo, la flora o la fauna, en este caso específico estos PFNL se deben usar para la construcción de refugios para la avifauna, así como la construcción de perchas que se describe en el capítulo 10 del presente documento. En el acápite 6.1.1 en donde describe las medidas de manejo ambiental y específicamente los residuos del aprovechamiento se debe decir que además de lo descrito en el documento, es conveniente disponer de manera adecuada de estos residuos, específicamente con las acículas las cuales se hace necesario disponerlas en montículos sobre líneas de pendiente, a manera de trincho, con fin de disminuir el riesgo de erosión por escorrentía.

Con el fin de producir una menor afectación al área del bosque que se va a destinar para el establecimiento de las estrategias de restauración es recomendable que la extracción de madera se inicie en la parte alta del predio Santa Bárbara como se describe en la figura 2, de esta manera se puede ir recuperando la zona en donde se ha aprovechado el bosque de manera tal que pueda iniciarse el programa de seguimiento y monitoreo a esas áreas.

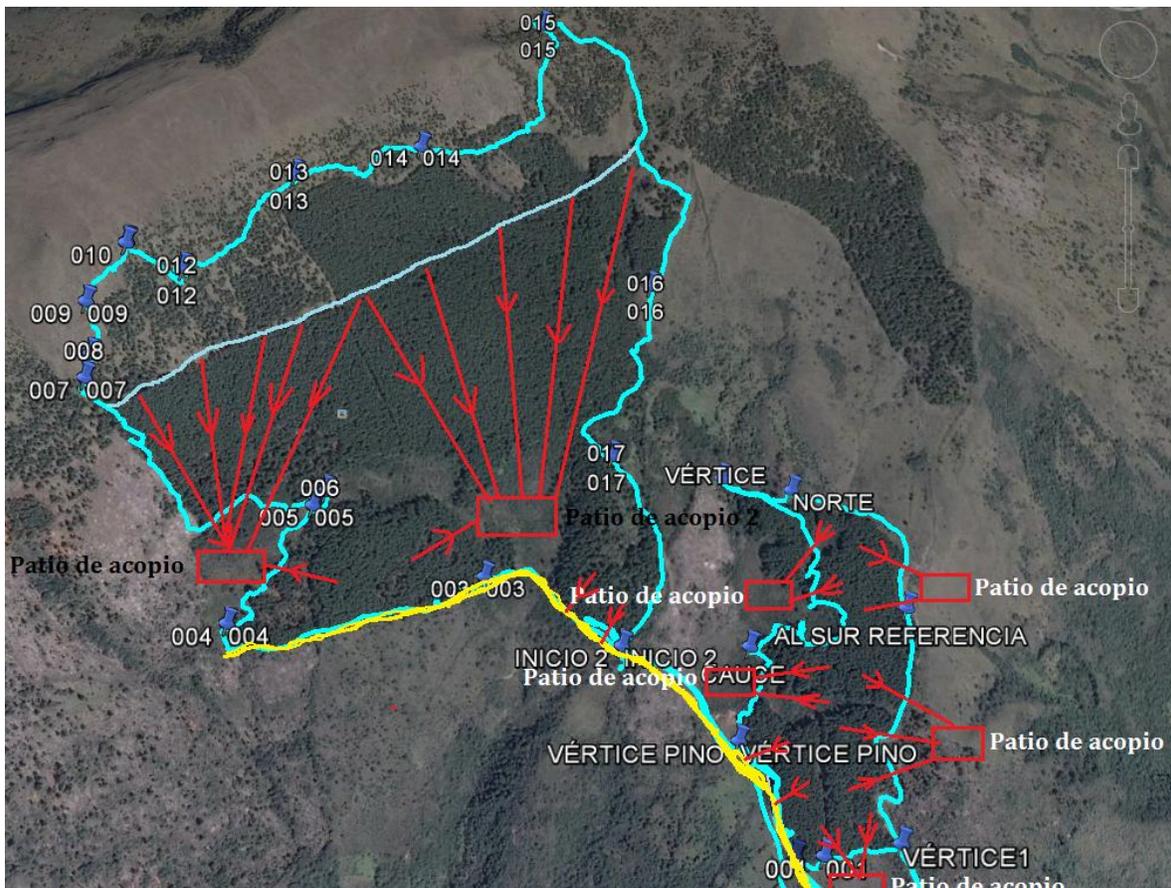


Figura 2. Ruta de extracción de los productos forestales, la línea amarilla pertenece a una vía existente, las líneas rojas describen la trayectoria de la madera sugerida, iniciando en la parte alta de la plantación.

6. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

6.1. TRANSFORMACIÓN DE LOS PARAMOS EN LA CORDILLERA ORIENTAL

Los páramos no son solamente ecosistemas, paralelamente son territorios sociales y culturalmente construidos, pensados, interpretados y habitados desde hace varios siglos (Rivera & Rodríguez 2011). Sin embargo, los españoles que desconocían estos ecosistemas, equivocadamente introdujeron prácticas agrícolas con las que acostumbraron a indígenas y campesinos a un uso intensivo de la tierra, lo que produjo a través de los años, cambios ambientales y transformación del paisaje del páramo (Rivera 2001). Los efectos de la actividad humana se manifiestan de forma diferencial, heterogénea y con diversas trayectorias de cambio (Rivera & Pinilla 2014). Dando como resultado un proceso acelerado de transformación antrópica de los ecosistemas en el mundo.

Las principales actividades de transformación antrópica en el páramo están asociadas a los sectores productivos forestales y de infraestructura agropecuaria, minero extractivo,

comercio y turismo, generando distintos procesos de cambio en los páramos y nuevos paisajes de alta montaña (Rivera & Pinilla 2014).

Dependiendo de la frecuencia y magnitud en la ocurrencia de las actividades antrópicas se genera una desarticulación de los procesos ecológicos del ecosistema con los que se modifican su estructura, composición y función. Lo anterior desenlaza procesos tales como:

- Pérdida total o parcial del horizonte orgánico del suelo por remoción de la capa vegetal.
- Pérdida total del banco de semillas y de mecanismos de regeneración en las especies nativas.
- Cambio en la composición de especies de fauna y flora por la aparición de especies tolerantes y competitivas.
- Alteración físico – química del suelo y el agua por la aplicación de pesticidas, herbicidas y fertilizantes.
- Inestabilidad del suelo y propensión a soliflucción, subsidencia, deslizamientos y derrumbes.
- Secamiento del suelo en agregados hidrofóbicos con la consecuente pérdida de la función de regulación hídrica.

De acuerdo con Herrera (2011), en un escenario de páramo antropizado, la transformación de los paisajes multifuncionales en territorios intensificados supone un beneficio económico a corto plazo, pero una pérdida de bienestar humano a largo plazo debido a la degradación de la biodiversidad y, por tanto, la pérdida de servicios ecosistémicos y valores culturales.

La restauración ecológica resulta ser una disciplina de la ciencia que permite a largo plazo devolver atributos propios de los ecosistemas degradados. Para los páramos, esto se convierte en un gran reto, ya que esta recuperación se ha ejecutado de manera equivocada, generando áreas reforestadas con especies exóticas. Además, la restauración de los páramos en Colombia, se ha generado como respuesta a eventos como desastres ambientales y no como un proceso dentro de la planeación ambiental de proyectos o de ordenamiento del territorio (Rivera & Pinilla 2014).

6.2. GENERALIDADES DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica es definida como el proceso de asistir o ayudar al restablecimiento estructural y funcional de un ecosistema degradado, dañado o destruido (SER 2004). Desde el punto de vista práctico, la restauración es una herramienta que busca la reposición de los valores, bienes y servicios que las comunidades locales han perdido.

Según la Sociedad de Restauración Ecológica (2014) los objetivos dentro de la restauración ecológica son:

- **Restauración ecológica propiamente dicha:** restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema predisturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. El ecosistema resultante debe ser un

sistema autosostenible y debe garantizar la conservación de las especies, del ecosistema en general así como la mayoría de sus bienes y servicios.

- **Rehabilitación ecológica:** llevar al sistema degradado a un sistema o trayectoria similar o no al sistema predisturbio, este debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos.
- **Recuperación ecológica:** recuperar algunos servicios ecosistémicos de interés social. Generalmente los ecosistemas resultantes no son autosostenibles y no se parecen al sistema predisturbio.
- **Restauración del Capital Natural (RCN):** es una aproximación global que articula los sistemas naturales, los sistemas de producción y los sistemas urbanos junto con la economía y la ingeniería para restaurar los sistemas naturales y para rehabilitar las tierras cultivables y otros sistemas de producción de manera sostenible. También busca mejorar la conservación de la biodiversidad local y al mismo tiempo mejorar la oferta de servicios ecosistémicos para la gente (Aronson et al. 2006, 2007a, 2007b).

Dentro de la restauración ecológica de áreas disturbadas se han desarrollado dos conceptos: el de sucesión y disturbio. La sucesión es definida como el reemplazamiento de las especies a través del tiempo, mientras que el disturbio es definido como la sumatoria de eventos relativamente discretos en el tiempo que rompen la estructura y la función de un sistema. Al total de disturbios que afectan un sistema o área se les denomina régimen de disturbio (Pickett & White 1985; White & Jentsch 2001 en Barrera et al 2010).

Los disturbios en los páramos, están relacionados a las continuas acciones antrópicas que generan efectos negativos en la composición, estructura y el funcionamiento en los ecosistemas (Pickett & White; White & Jentsch 2001). Tales disturbio, afectan el ecosistema dependiendo del tipo, de la magnitud y de la frecuencia del mismo, es decir, el nivel del disturbio, está determinado por el tipo de actividad que se realice de acuerdo a los cambios en el uso de la tierra. Por otra parte, se debe recordar que todos los sistemas ecológicos se encuentran sometidos a factores limitantes.

Reconocer los factores limitantes en la restauración, contribuye a la planeación adecuada de las estrategias y técnicas en la restauración, con el fin de proponer alternativas para superar componentes que dificulten el proceso de restauración en los páramos (Aguilar & Ramírez 2014).

6.3. DEFINICIÓN DE FACTORES, TENSIONANTES, LIMITANTES Y POTENCIADORES EN LA RESTAURACIÓN

Por limitantes se definen a los umbrales que pueden existir entre algunos estados del ecosistema que impiden su retorno a un estado de menor degradación (Hobbs & Norton 1996 en Velasco 2014).

Los factores limitantes ecológicos corresponden a la interacción de los factores bióticos y abióticos, como resultado de los procesos de alteración. A nivel ecosistémico, los factores

limitantes influyen en las fases más importantes de la vida de las plantas: dispersión, establecimiento. Las limitaciones a este proceso en sus diferentes etapas afectarán la riqueza de las especies de la comunidad y estructura de las poblaciones (Vargas et al 2007).

Los factores tensionantes son considerados como los diferentes tipos de estímulos externos que pueden dañar o no los sistemas naturales (Brown y Lugo, 1994 en: Barrera & Valdés 2007).

Los factores potenciadores son considerados como las condiciones propias de los sistemas que favorecen o ayudan al proceso de restauración ecológica del área a restaurar (Barrera *et al.* 2010).

FASES DE UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Un proyecto de restauración ecológica implica el desarrollo de tres fases fundamentales: **I.** Caracterización diagnóstica e inclusión de actores sociales, **II.** Diseño e implementación de las prácticas de restauración, **III.** Diseño e implementación del programa de monitoreo.

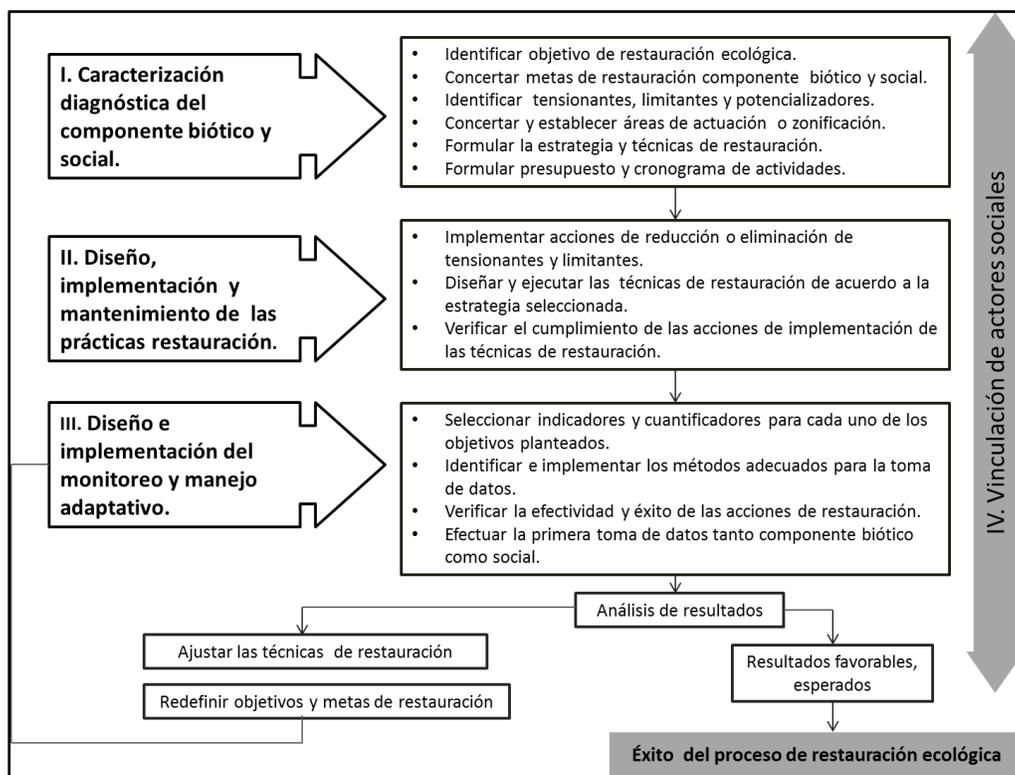


Figura 3. Esquema por fases de la elaboración de un proyecto de restauración, las flechas indican la retroalimentación de un proyecto de restauración que no es estático donde en ocasiones es necesario redefinir o modificar tratamientos e incluso las variables del programa de evaluación y seguimiento, (Modificado de Machmer & Steeger 2002, Aguilar-Garavito & Ramírez 2014).

- I. **Caracterización diagnóstica:** esta fase del proceso de restauración busca dar un fundamento sólido sobre el conocimiento del área degradada del ecosistema y de los múltiples estados sucesionales de referencia. Dentro de esta fase, se debe definir los siguientes aspectos: zonificación ecológica, identificación, caracterización y priorización de las áreas degradadas, identificación y caracterización de ecosistemas potenciales. El análisis de factores limitantes y tensionantes y definición de objetivos de restauración, teniendo en cuenta los estados deseables tanto ambiental como socialmente.
Inclusión de actores sociales: se debe realizar desde el comienzo del proyecto, para mejores resultados se deben tener en cuenta a la mayoría de los actores sociales involucrados en la degradación o recuperación del ecosistema objeto de la restauración. Esta inclusión se debe realizar a lo largo de todas las fases del proyecto. La restauración ecológica se debe plantear como una fuente de trabajo que reduce el desempleo, para mejorar la calidad de vida de los habitantes cercanos de las áreas a intervenir y para acercar a las comunidades locales con los servicios de la naturaleza.
- II. **Diseño e implementación de las prácticas de restauración:** Es el proceso de identificación y selección, planificación y aplicación de las técnicas y estrategias de restauración ecológica que, de acuerdo con el diagnóstico, tienen la posibilidad de solucionar o mitigar los efectos de los disturbios y de los factores limitantes.
- III. **Diseño e implementación del programa de monitoreo:** permite medir en el tiempo, el éxito o fracaso de la fase de implementación, de acuerdo con los objetivos de restauración planteados. También debe permitir identificar fallas para futuros manejos adaptativos. Para lo anterior, se deben definir metas a corto, mediano y largo plazo.

6.4. CARACTERIZACIÓN DIAGNÓSTICA

La caracterización diagnóstica busca realizar una correcta lectura y análisis del sistema predisturbio y de la manera cómo ha avanzado el proceso de la sucesión en aquellas áreas que han sido afectadas en el pasado (SER 2004, Barrera-Cataño & Valdés-López 2007, Barrera-Cataño 2008,2010). A partir de estos datos obtenidos se identificó el potencial biótico para la restauración, las especies vegetales y las comunidades susceptibles a los disturbios o que indiquen un avance en la sucesión en condiciones naturales.

Se realizó un reconocimiento del área de estudio, con el objeto de determinar las coberturas adyacentes a la plantación forestal y el estado en general de la misma. La recopilación de la información se hizo a través del formato denominado “Formato de caracterización del área – fase de reconocimiento” Anexo 1.

Para la definición de coberturas se utilizó la clasificación de coberturas de la tierra Corine Land Cover (CLC). (IDEAM 2010). En la tabla 3 se dan a conocer las coberturas de tierra

definidas para cada uno de los sitios descritos en la caracterización diagnóstica, para cada plantación.

Tabla 3. Definición de coberturas de tierra según CLC (2010), para las áreas adyacentes de cada una de las plantaciones forestales (I, II).

Plantación	Sitio	Cobertura dominante
I	1	Mosaico de pastos y espacios naturales
I	2	Herbazal denso de tierra firme con arbustos
I	3	Mosaico de pastos y espacios naturales
I	4	Mosaico de pastos y espacios naturales
II	1	Mosaico de pastos y espacios naturales
II	2	Mosaico de pastos y espacios naturales
II	3	Vegetación secundaria baja
II	4	Herbazal denso de tierra firme con arbustos
II	5	Herbazal denso de tierra firme con arbustos
II	6	Herbazal denso de tierra firme con arbustos
II	7	Herbazal denso de tierra firme con arbustos

6.4.1. Mosaico de pastos y espacios naturales

Se caracteriza por la presencia de formaciones vegetales semiabiertas, con elementos arbustivos y arbóreos que se intercambian, y una gran variabilidad en su composición florística, cobertura y fisionomía, por esta razón muestra una alta heterogeneidad, riqueza y diversidad de especies (van der Hammen 1998). Esta zona puede ser considerada de transición y permite reconocer la estrecha relación existente entre el páramo y el bosque altoandino, que se fundamenta en su integridad ecológica y además, en que funciones como la regulación hídrica son condicionadas por la conexión de estos dos ecosistemas (Hofstede 2001, Lambí en prensa). Dentro de la vegetación que integra esta cobertura está: Arbustos de los géneros, *Escallonia.*, *Hesperomeles*, *Myrsine*, *Gynoxys*, *Buddleja*, *Gaiadendron*, *Clethra*, *Weinmannia*, *Miconia*, *Myrsine*, *Myrica*, *Vallea*, *Myrcianthes*, *Oreopanax*, *Brachyotum*, con presencia de arbustos de los géneros: *Pentacalia*, *Cestrum*, *Disterigma*, *Diplostephium*, *Pernettya*, *Barnadesia*, *Arcytophyllum*, *Berberis*, *Bejaria*, entre otros. Adicional a la vegetación nativa, para el caso específico del área de estudio se identificó la presencia del pasto exótico *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. y especies típicas de bosque altoandino como: *Alnus acuminata* Kunth, *Baccharis bogotensis* Kunth. Además individuos de frailejones del género *Espeletia* en menor cantidad.



Figura 4. Imagen fotográfica de un área adyacente a plantación forestal con cobertura de Mosaico de pastos y espacios naturales.

6.4.2. Herbazal denso de tierra firme

Sus elementos característicos de la vegetación son: colorado (*Polylepis quadrijuga* Bitter), rodamonte (*Escallonia myrtilloides* L. f.), gaque (*Clusia multiflora* Kunth) y también algunos otros como *Miconia mesmeana* Gleason, *Ageratina fastigiata* (Kunth) R.M. King & H. Rob., chite (*Hypericum myricariifolium* Hieron.), *Pentacalia* sp., *Diplostephium* sp, *Berberis* sps, *Bejaria* sp, entre otros. Entre las especies de hierbas sobresalen los géneros como *Oxalis*, *Nertera*, *Senecio*, *Valeriana*, rosetas de *Puya* y briófitas. En general esta cobertura está dominada por frailejón (*Espeletia* sp.) y pajonales del género *Calamagrostis* sp.

En general, las áreas con esta cobertura son típicas del ecosistema páramo, pueden ser fuente de propágulos para las áreas de aprovechamiento forestal una vez se inicie el proceso de restauración (Fig 4.).



Figura 5. Imagen fotográfica del área adyacente a plantación forestal con cobertura de herbazal denso de tierra firme.

6.4.3. Vegetación secundaria baja

Esta cobertura es producto de la tala rasa de individuos de *Pinus patula* Schlt. & Cham., actualmente el suelo está cubierto por una densa capa de acículas en diferentes estados de descomposición siendo la más cercana al suelo la que se encuentra en estado más avanzado de descomposición. La vegetación que se encuentra en el área es muy poca y alcanza los 15 cm de altura con especies como *Phytolacca bogotensis* Kunth, *Vallea stipularis* L. f., *Alnus acuminata* Kunth, *Pinus patula* Schlt. & Cham., *Hypochaeris radicata* L. y *Rubus* sp.

6.5. Características del ecosistema predisturbio - Páramo de la Rusia.

Los resultados obtenidos por Hernández-D. y Rangel-Ch. (2002), citados por Fundación Natura (s. f.), para el páramo de La Rusia, incluyen un total de 578 especies de flora distribuidas en 269 géneros y 120 familias, dentro de las cuales el grupo de las angiospermas contribuye con 297 especies, 144 géneros y 51 familias. La familia Asteraceae presenta el mayor número de géneros y especies, con 26 y 67, respectivamente, seguida de las familias Poaceae, Ericaceae, Orchidaceae y Rosaceae. Cladoniaceae y Parmeliaceae entre los líquenes son las familias con mayor número de géneros, y en musgos se encuentran Bartramiaceae y Dicranaceae. El páramo de La Rusia es considerado como un área de gran diversidad florística, ya que contiene un 9% de la flora paramuna en cuanto a angiospermas, 28% de musgos, 24% de líquenes, 11% de helechos y 7% de hepáticas (Hernández-D. y Rangel-Ch., 2002). Las especies en peligro son *Espeletia arbelaezii*, *E. discoidea*, *E. rositae*, *E. tunjana* y otras especies de los géneros *Espeletia*, *Espeletopsis* y *Libanothamnus* (García et al., 2005). En el páramo de La Rusia se encuentran 13 especies de frailejones.

En cuanto a la fauna, de acuerdo con la Fundación Natura (s. f.) en el corredor Guantiva – La Rusia se encuentra un total de 169 especies de aves pertenecientes a 132 géneros y a

39 familias. Las familias más representativas son Trochilidae, Tyrannidae y Thraupidae con 23 especies. Dentro de éstas, las reportadas para el complejo paramuno son 22 (IAvH, 2006) encontrándose amazilia ventricastaño (*Amazilia castaneiventris*), Ampelion rubrocristatus, colibrí chupasavia (*Boissonneaua flavescens*), carpintero buchipecoso (*Colaptes punctigula*), Elaenia frantzii, Hapalopsittaca amazonina, Melanerpes formicivorus, Tangara vitriolina y Veniliornis fumigatus. Renjifo et al. (2002) han registrado para el corredor Guantiva – La Rusia un total de cuatro especies de aves en categoría de amenaza, de las cuales hacen parte del complejo el chango de montaña (*Macroagelaius subalaris*), en estado crítico, y la cotorra montañera (*Hapalopsittaca amazonina*), en estado vulnerable.

6.6. Acercamiento a la estructura de la vegetación de las áreas adyacentes

La estructura de la vegetación es respuesta a la incidencia de la radiación, al flujo de la precipitación al interior de la comunidad y la acción del viento (Rangel & Velásquez 1997). Este definida como el ordenamiento espacial de los elementos que componen el ecosistema (Kuchler 1966; Rangel & Velásquez 1997), tanto vertical como horizontal. Para el presente estudio se tuvo en cuenta la estructura vertical que se refleja en la altura de las especies.

Según la altura de los individuos de la vegetación se determinó el porcentaje por estrato para cada plantación, se siguió la clasificación de Rangel & Velásquez (1997); estrato rasante $\leq 0.30m$, herbáceo 0,31 – 1,5m, arbustivo 1,51 – 5m, arbóreo 5 – 12m.

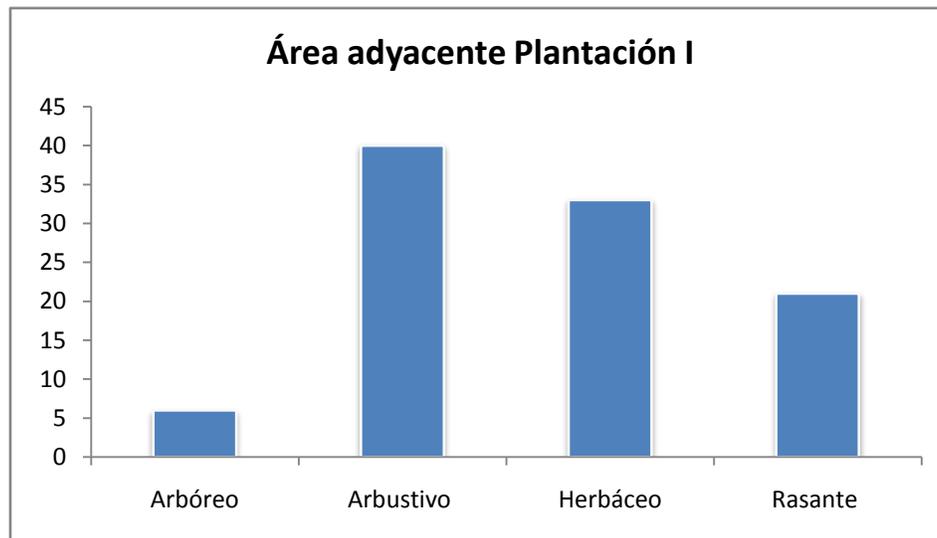


Figura 6. Porcentaje de estrato en áreas adyacentes a la plantación I.

En la plantación I, la vegetación se agrupa en el estrato rasante con un 21% que corresponde a los pastos dominando la especie *Pennisetum clandestinum*, seguido por el estrato herbáceo con un 33%, el estrato arbustivo es el más representativo con un 40%, donde se agrupan todos los individuos arbustivos de la zona de transición entre bosque altoandino y páramo. (*Alnus acuminata.*, *Baccharis sp.*, *Diplostephium sp.* entre otros), el estrato menos representativo fue el arbóreo con 5%, es de esperarse este bajo porcentaje

teniendo en cuenta que la vegetación es de zona transicional entre bosque alto andino y páramo, con una altitud de 3700 m.

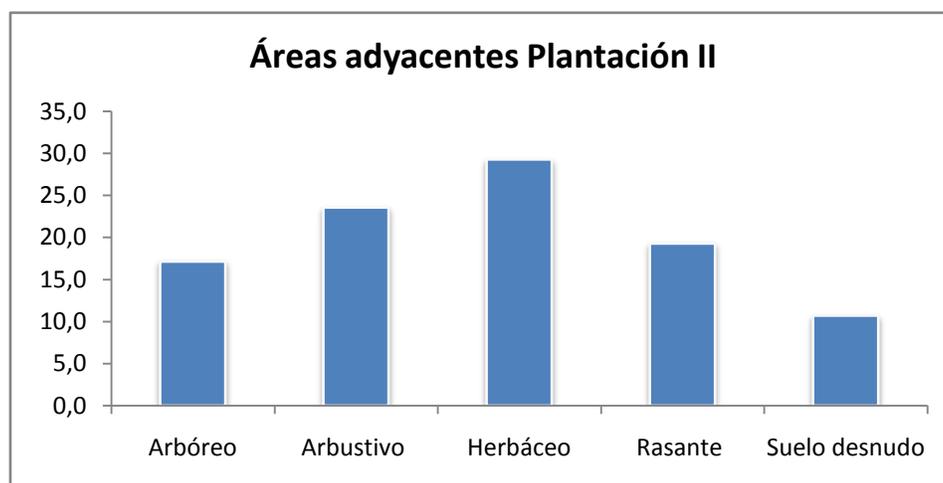


Figura 7. Porcentaje para cada estrato en áreas adyacentes a la plantación II.

El estrato más representativo en las áreas adyacentes de la plantación II es el herbáceo (30%), estrato dominado por pajonales del género *Calamagrosti* sp. y frailejones con alturas entre 0,80m y 1,50m. El estrato arbustivo fue representado con un 24% lo que refleja una vegetación de páramo más conservada, con algunos individuos de frailejones que superan la altura de 1,50m, además de arbustos del género *Escallonia* y *Diplostephium*. El estrato rasante tiene un porcentaje de 19, representado por pequeñas hierbas de subpáramo y pajonales de menor porte. El suelo desnudo, aunque no es un estrato de la vegetación, se incluyó, ya que una de las áreas adyacentes de esta plantación es un área pos tala cubierta por acícula en descomposición y alguna vegetación que se está arribando y emergiendo.

6.7. Inclusión de actores sociales

Se realizaron encuestas a los habitantes más cercanos a las plantaciones forestales. En total se efectuaron cinco (5) encuestas. (Anexo 1).

Pregunta No. 1: ¿Usted está familiarizado con la plantación de pino (*Pinus patula* L.) presente en su vereda?

Para todos los encuestados la respuesta fue afirmativa, además coinciden en que la plantación trae efectos negativos al ecosistema, destacando la sequía del suelo como la mayor consecuencia. La mayoría de los encuestados son propietarios del terreno, por ende conocen la historia de la plantación, algunos tienen recuerdos de cuando se realizó, afirmando que fueron las autoridades ambientales quienes dirigían la plantación.

Pregunta No. 2: De las siguientes opciones a qué grupo pertenecen las plantas de pino que conforman la plantación:

- a. Especies nativas ____ b. Especies exóticas (foráneas) ____ c. No sabe _____

Los encuestados coinciden en dar como respuesta la opción b. (especies exóticas), lo que denota que son consientes de sus ecosistemas naturales y de diferencias entre lo exótico y lo nativo.

Pregunta No. 3: Al cambiar las especies exóticas como pino o eucalipto por especies propias del bosque altoandino, usted cree que se favorece las condiciones para la fauna.

a. Totalmente de acuerdo ___ b. De acuerdo ___ c. Indiferente ___ d. En desacuerdo

Las personas encuestadas dijeron estar totalmente de acuerdo, lo que indica el reconocimiento de la comunidad por la importancia de los ecosistemas naturales y su impacto positivo en las interacciones entre la flora y la fauna propia de un lugar.

Pregunta No. 5: ¿Está usted de acuerdo en que se realice el cambio de cobertura vegetal, de plantación forestal a cobertura vegetal nativa?

Los encuestados coinciden en estar de acuerdo o totalmente de acuerdo con el cambio de cobertura vegetal, nombrando además especies de vegetación nativa que puede plantarse una vez realizada la tala de pinos. Muestran interés en el hecho de participar activamente en este proceso y más si lo contemplan como una opción laboral.

El éxito de los procesos de restauración ecológica depende en gran medida del interés y voluntad de los diferentes actores sociales para cooperar unos con otros y con las iniciativas del proyecto (OIMT & UICN, 2005). Por tal motivo, plantear el desarrollo de procesos participativos e incluyentes como punto de partida y fase transversal de los procesos de restauración, busca contribuir al cumplimiento de las metas que serán propuestas, por medio de un proceso de aprendizaje colectivo, que parte del conocimiento de la realidad socio-ambiental del territorio, generando mecanismos de responsabilidad y conciencia sobre el estado de los recursos naturales, y de esta forma estableciendo lazos de cooperación entre los individuos, fortaleciendo las bases sociales, reconstruyendo tejido social y consolidando procesos que contribuyan con la búsqueda de mejores condiciones de vida para las comunidades.

7. METAS Y OBJETIVOS

Las metas son definidas como las condiciones o estado ideales que en un proyecto se pretende alcanzar; mientras que los objetivos son considerados como las medidas concretas que se toman para lograr las metas (SER, 2004). Estos últimos deben ser alcanzables en el tiempo y acordes con los recursos económicos con los que cuenta el proyecto (Barrera & Valdés, 2007, Vargas & Mora, 2008 en: Barrera et al. 2010).

7.1. META

Restablecer la composición y estructura del estrato herbáceo y arbustivo de treinta y tres (33) hectáreas de área post erradicación de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. L. ubicadas en los predios “El Tablón” de la vereda San Antonio Norte y “Santa Bárbara” de la vereda San Antonio Sur del municipio de Duitama de propiedad de EMPODUTAMA.

7.2. OBJETIVO PRINCIPAL

Establecer una estrategia de restauración que permita generar condiciones propias del ecosistema predisturbio.

7.2.1. Objetivos secundarios

Establecer una cobertura vegetal de zona de transición entre el ecosistema de bosque altoandino y páramo que permita la llegada de especies de flora y fauna nativas.

Implementar estrategias de restauración ecológica que permita acelerar el proceso de sucesión ecológica una vez erradicadas 33.7 hectáreas de plantaciones forestales de *Pinus patula* Schlttdl. & Cham.

8. ANÁLISIS DE FACTORES TENSIONANTES, LIMITANTES Y POTENCIALIZADORES

El sistema a restaurar corresponde a la plantación forestal de Pinus patula Schlttdl. & Cham., para la cual se realizó el análisis de los factores tensionantes que dicha área puede generar sobre los sistemas adyacentes, así como, las tensiones que pueden darse, desde los sistemas adyacentes hacia el área donde se va a llevar a cabo la sustitución de la plantación

Del mismo modo, se analizaron los factores limitantes que pueden restringir la sucesión natural al interior de la plantación y cuáles podrían ser los factores potenciadores de la misma. Tabla 4.

Tabla 4. Factores limitantes, tensionantes y potenciadores.

Variable de análisis	Descripción
<i>Tensionante de las plantaciones hacia las áreas adyacentes</i>	<i>Barrera para la migración y colonización de especies nativas.</i>
	<i>Probabilidad de incendio forestal.</i>
	<i>Probabilidad de colonización de especies forestales sobre las áreas de pastizal.</i>
<i>Tensiones de las áreas adyacentes sobre el área de la plantación forestal en el momento de realizar la plantación forestal</i>	<i>Climáticos:</i> <ul style="list-style-type: none">• <i>Precipitaciones</i>• <i>Heladas</i>• <i>Radiación solar</i>
	<i>Biológicos:</i> <ul style="list-style-type: none">• <i>Dispersión y colonización de especies exóticas empleadas en el establecimiento de pasturas (ej: Brachiaria sp).</i>• <i>Baja presencia de vegetación nativa</i>

Variable de análisis	Descripción
	<p>Socioeconómico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pastoreo de ganado
<i>Factores limitantes para el desarrollo de las especies nativas en procesos de restauración ecológica</i>	<i>Área localizada en pendientes fuertes limitando el establecimiento de las especies nativas e incrementando los procesos de erosión.</i>
	<i>Disminución de la oferta hídrica del sistema, como consecuencia de los procesos de alteración generados por las plantaciones forestales, las cuales incrementa las tasas de interceptación y evapotranspiración, disminuyendo la cantidad de agua que puede ser infiltrada y transportada hacia los cuerpos hídricos.</i>
	<i>Bajos niveles de fertilidad en el suelo, producto de los cambios en el reciclaje de nutrientes del sistema.</i>
	<i>Disminución de las coberturas de vegetación nativa de páramo lo que conlleva a reducción y pérdida de microhábitats.</i>
	<i>Presencia de compuestos alelopáticos que limitan la germinación y crecimiento de las especies nativas.</i>
	<i>Cambio en las características microclimáticas dentro de la plantación y áreas post erradicación.</i>
	<i>Acumulación de hojarasca (acículas en plantaciones de pinos), que dificulta la llegada de las semillas del suelo y la creación de microsítios de regeneración</i>
	<i>Acumulación de la materia orgánica como consecuencia de la disminución de la descomposición que es inhibida por la acumulación de las acículas de pinos.</i>
<i>Factores potencializadores</i>	<i>Presencia de especies nativas (propágulos y banco de semillas) al interior de la plantación forestal y en las áreas adyacentes.</i>
	<i>Presencia de relictos naturales cercanos a las áreas de aprovechamiento y en altitudes superiores que brindan propágulos y atraen a la fauna nativa.</i>
	<i>Actores sociales comprometidos con procesos de recuperación del capital natural perdido.</i>

9. ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica se define como el proceso de asistir al restablecimiento de áreas que han sido disturbadas, por medio de la aplicación de diferentes estrategias que analizan el área como un sistema (SER, 2004).

Una estrategia es definida en restauración ecológica a la selección y aplicaciones de un conjunto de acciones o técnicas de manera racional y organizada para alcanzar los objetivos de la restauración (Aguilar, 2014).

Las técnicas o acciones en restauración ecológica hacen referencia al conjunto de medidas que proviene de cualquier campo de conocimiento que se aplican o desarrollan para mitigar los factores limitantes y para eliminar o controlar los factores tensionantes (Aguilar, 2014).

9.1. NUCLEACIÓN COMO TÉCNICA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

El concepto de nucleación surge en el año 1974 con Yarranton y Morrison, quienes realizaron un análisis del proceso sucesional de la vegetación en dunas de diferentes edades en Ontario (Canadá). Como producto de este estudio, los autores definieron la nucleación como la capacidad que poseen algunos organismos para formar micro-habitats, mejorando las condiciones ambientales y atrayendo una serie de otros organismos, formando de esta manera, núcleos de diversidad.

Posteriormente, Reis y colaboradores en el año 2003 incorporaron el concepto de nucleación como una estrategia para el restablecimiento de ecosistemas disturbados. Por lo cual, definen la nucleación como el proceso que involucra cualquier elemento (biótico o abiótico) que pueda fomentar la formación de nichos de regeneración (núcleos), la colonización de nuevas poblaciones a través de la facilitación y nuevas conexiones en paisajes degradados. Los núcleos tienen por objetivo generar interacciones con los remanentes naturales, promoviendo así flujos ecológicos (dispersión de organismos, materia y energía) y con esto el avance la sucesión.

Entre la nucleación se encuentran la plantación de especies vegetales nativas o revegetalización, los refugios artificiales, la translocación de suelo entre otros (Reis *et al.* 2003, Bechara 2006, Bechara *et al.* 2007, Reis *et al.* 2007, Reis & Tres 2007).

Para garantizar la adaptación de las especies vegetales a establecer en cada uno de los módulos es recomendable la construcción de un vivero, con el fin de producir el material vegetal de las especies endémicas, que no es frecuente encontrarlas en los viveros comerciales del país, además de ser un factor de economía, pues para la obtención de estas especies se debe hacer por medio del rescate de plántulas en los bosques adyacentes, y la recolección de semillas una vez iniciado el aprovechamiento de la madera, esto garantiza disponer de material vegetal rustificado, propio de la zona y con alta probabilidad de adaptación al medio. A continuación se describen las características del vivero y su ubicación se presenta en el anexo 2 (cartografía).

Divisiones de un vivero

- ✚ Invernadero: lugar donde se aplican a las semillas tratamientos germinativos. Se construye con postes y listones de madera, plástico y polisombra. Al interior se destacan dos zonas: la primera una mesa destinada al procesamiento y limpieza de las semillas para facilitar su germinación y la segunda una o varias estructuras destinadas a la germinación de las semillas, pueden ser bandejas de germinación o camas donde se deposita un sustrato específico y se siembran las semillas hasta el nacimiento de las hojas verdaderas de la planta.

- ✚ Eras de crecimiento bajo polisombra: son lotes delimitados con palos o cuerdas, cubiertos por una malla negra que permite el ingreso del 60 o el 45% de luz, donde se ubican las plantas recién germinadas o las que naturalmente crecen bajo sombra, manteniendo un orden por especie, atributo o cualquier característica que permita su fácil manejo e inventario.
- ✚ Eras de crecimiento a luz directa: son lotes delimitados con palos o cuerdas donde crecen las plantas a pleno sol. Sirven también para realizar el último proceso de rustificación, previo a la salida del material vegetal.
- ✚ Bodega: lugar donde se guardan los materiales, las herramientas y semillas. Debe ser fresco, con poca luz y bien ventilado, preferiblemente cerca del invernadero, con estantes amplios, espacio para guardar materiales de alto porte. Se aconseja tener allí los manuales, carteles de seguimiento e información básica de rápido acceso.
- ✚ Zona de preparación de sustrato: área de limpieza y mezcla de tierra, arena y abono para el llenado de las bandejas, camas de germinación y bolsas. El lugar debe ser amplio para facilitar el llenado de las bolsas y la ubicación de cada tipo de sustrato; además, estar cubierto por tejas, plástico o polisombra.
- ✚ Caminos: sectores por donde se moviliza el personal y el material producido en el vivero; es recomendable permitir una distancia de 70 cm entre cada una de las eras y de 1,50 m en caminos principales.
- ✚ Sistema de riego: mecanismo con que se recoge, almacena y distribuye agua para los diferentes sectores y procesos del vivero. Los principales sistemas de riego son: manguera, regadera, aspersores, microaspersores, y goteo; estos últimos, recomendables para áreas pequeñas como las camas de germinación.

Se deben identificar las especies a trabajar, así como su tipo de reproducción (sexual o asexual), los periodos en que producen semillas y el tiempo que gastan en germinar y crecer. Con esto se pueden planificar las cantidades y la época en que el material estará listo para ser utilizado y crear un cronograma con las diferentes labores a realizar durante el año.

9.1.1. Técnica de revegetalización

La revegetalización se define como la introducción de plantas en las áreas degradadas. Su fin es mitigar o eliminar los factores limitantes o sus efectos, generando además una gran variedad de relaciones ecológicas positivas, control de procesos erosivos, efecto positivo en el ciclo de nutrientes, regulación microclimática y recuperación de hábitat para la fauna (Aguilar, 2014).

Con la revegetalización se busca establecer una comunidad dominada por plantas nativas que genera cambios en las condiciones microclimáticas, inhibiendo la entrada de luz directa al suelo, produciendo hojarasca en el menor tiempo posible y aumentando la humedad del suelo, en términos generales desfavoreciendo el establecimiento y buen desarrollo de las plántulas de especies exóticas – invasoras y facilitando el establecimiento espontáneo de otras especies que favorezcan el reemplazo de la vegetación hacia comunidades de vegetación con mayor estratificación y diversidad.

En 1935, Anderson propone un método diferente de plantación que consiste en establecer una plantación o revegetalización de módulos densos y ampliamente espaciados que

pueden variar de acuerdo al número de individuos que contiene cada unidad, la composición de especies, el espacio entre los individuos y el espacio entre los módulos.

Estas agrupaciones son denominadas por otros autores como “islas de árboles” (island trees) Reis *et al.* 2010, Zahawi & Augspurger 2006, Reis *et al.* 2003) o “islotos de bosque” (woodland islets) (Rey *et al.* 2008). Dichas agrupaciones pueden ser consideradas como una estrategia de restauración pasiva, es más económica que una plantación con el método tradicional, apta para áreas degradadas y con grandes beneficios ecológicos. Dentro de los beneficios se encuentran:

1) Son fuentes de semillas y animales dispersores que pueden colonizar hábitats adyacentes (Holl *et al.* 2010, Zahawi & Augspurger 2006), al proveerle perchas a las aves y cobertura de los arbustos a los pequeños mamíferos, entre otros beneficios.

2) Favorecen la sucesión secundaria a través del establecimiento de pequeños focos de colonización (Zahawi & Augspurger 2006).

3) Proveen hábitats para un rango amplio de especies incluyendo microorganismos, hongos, plantas, invertebrados y vertebrados (Rey *et al.* 2008).

Selección de especies

Para seleccionar las especies se tuvieron en cuenta los siguientes criterios (Aguilar 2010):

- Características reproductivas: Estrategia reproductiva r y tipo anemócora.
- Tolerancia a la escasez de recursos: Agua y nutrientes.
- Características Físicas: Grado de cobertura; hábito (arbustivo y herbáceo) ; rápido crecimiento
- Características sucesionales: tolerancia a las perturbaciones (fuego, corte y daños en parte de la planta y heladas); tasa de renovación alta; Aptitud pionera; alta sociabilidad con especies nativas.
- Usos sugeridos en restauración: control de erosión y alta competencia.
- Distribución altitudinal: entre los 3.500 y 3.800 m.
- Disponibilidad en viveros para la fecha de plantación.
- Plantas que presenten alta dominancia en las comunidades de matorral de los ecosistemas de referencia o relictos naturales adyacentes.

Densidades de Plantación

Las densidades y distancias de plantación empleadas sugeridas toman como referencia (estos valores son un punto de partida para estimar las densidades empleadas en el presente proyecto. No son aplicados o considerados de manera estricta, ya que son

empleados como una guía o referencia) los resultados de las mediciones realizadas por Cortés-S. (2003) en el Bosque Alto andino de la Sierra de Chía-Cundinamarca, Cordillera Oriental de Colombia

Consecuentemente, los rangos de distancias y densidades empleadas para el plan de revegetación, según el hábito de la vegetación, son los siguientes:

- **Arbustos:** distancias entre individuos de 1 m y 1,5m. La disminución de la distancia máxima se aplica con el fin de potenciar procesos de competencia.
- **Hierbas:** distancia entre individuos 0,5 m. Se consideró como referencia inicial la distancia mínima para la vegetación clasificada como matorral bajo por Cortés-S. (2003)

El método de plantación es la forma de introducir las nuevas especies en el terreno. Existen dos métodos básicos: el método de siembra que consiste en colocar directamente semillas sobre el terreno a repoblar; y el método de plantación que consiste en colocar plántulas o plantones a raíz desnuda o en envase mediante enterramiento adecuado del sistema radical (Serrada 2000, 2008). Para este proyecto se ha seleccionado el método de plantación de plántulas en envase de plástico. Las ventajas que confiere este método frente a los objetivos del proyecto son las siguientes:

- Mayor probabilidad de éxito en la repoblación ya que las plantas con alturas superiores a los 20 cm son más resistentes a los riesgos meteorológicos que las plántulas recién nacidas.
- Ganancia de tiempo equivalente al tamaño y edad de las plantas introducida.
- Mayor probabilidad de competir por recursos y de inhibir el crecimiento de especies exóticas – invasoras.
- Ocupación rápida y regular del terreno.
- Las plantas introducidas pueden servir como nodrizas para nuevas colonizadoras nativas.
- Se hace más fácil mezclar especies.
- Menor costo de los cuidados culturales.
- Menor riesgo de plagas y enfermedades en las primeras edades.
- Este método presenta pocas limitaciones estacionales. Es un método adecuado para estaciones climáticamente difíciles.
- Requiere menor intensidad en la preparación del terreno.

Las desventajas son las siguientes:

- Pueden existir dificultades en obtener las especies, cantidades y tamaños que se requieren utilizar en la repoblación.

- Requiere de mano de obra abundante y especializada en su ejecución.
- Su ejecución es cara comparada con la siembra, aunque de resultados más seguros.

9.1.2. Diseños de módulos de plantación

A continuación se proponen tres tipos de módulos, uno para cada cota altitudinal: I módulo para 3.500m, II módulo 3.600m y III módulo 3.700.

Las especies de vegetación que se proponen para los diferentes módulos fueron seleccionadas a partir de la caracterización diagnóstica y en base a revisión de literatura sobre la vegetación propia de sub paramo, zona de transición entre páramo y bosque altoandino y bosque altoandino en las cotas altitudinales más altas. Los módulos tienen una forma rectangular, para facilitar su establecimiento en el área, con un área total de 200m² (20m x 10m).

I Módulo

En esta módulo se establecerán especies de bosque altoandino, de los géneros, *Miconia* sp., *Baccharis* sp. *Valle stipularis*, además la especie *Macleania rupestris*(Kunth) A.C. Sm. dominante en el cordón de Ericáceas. La distancia para plantar entre individuos es de 2m, aunque de ser necesario, puede reducirse a 1,5 o aumentar el número de individuos de las especies pioneras y generalistas del genero *Lupinus* sp. y *Baccharis* sp.

Se establecerán especies resistentes a cambios de temperatura, resistentes a heladas y vientos fuertes, con características de especies generalistas y pioneras, capaces de colonizar y mantenerse en la formación de matorrales desde las primeras etapas sucesionales. Además de tener frutos atractivos para la fauna, principalmente avifauna.

II Módulo

En este módulo se establecerán especies de páramo y algunas especies de arbustos de la franja de ecotono, tolerantes a las condiciones ambientales de altura.

Las especies dominantes que se plantarán son romero blanco (*Diplostegium rosmarinifolium*(Benth.) Wedd.), romero ancho (*Pentacalia pulchella* (Kunth) Cuatrec.), cucharo (*Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze), tunos (*Miconia squamulosa* (Sm.) Triana) y Laurel hojipequeño, (*Morella parvifolia* (Benth.) Parra-Os.). Especies acompañantes como *Hypericum* sp., *Puya* sp. y *Loricaria*.

Las especies acompañantes se ubican en el centro del triangulo que forman las arbustivas de mayor porte. La distancia entre las especies arbustivas es mayor (entre 2 y 3m), con el fin de dejar espacios vacios para el arribo espontaneo de propágulos o expresión de banco de semillas. Es necesario realizar descomposición del suelo y remoción de capa vegetal en estos espacios, para mejorar condiciones de suelo e ir eliminando especies exóticas o invasoras, como lo son los pastos (Fig 7.).

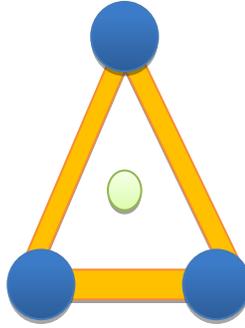


Figura 8. Diseño de plantación para módulos II y III. Los círculos azules representan las especies arbustivas de mayor porte, el círculo verde claro representa especies arbustivas o hierbas de menor porte, las franjas amarillas indican espacios libres para llegada de propágulos.

III Módulo

En este módulo se establecerán especies vegetales de subpáramo, especies de estrato arbustivo y dominantes como: rodamonte (*Escallonia* sp.) y Ageratina sp, charne (*Bucquetia glutinosa* (L. f.) DC.), azafrán o manzano (*Clethra fimbriata* Kunth) y romero ancho (*Pentacalia pulchella* (Kunth) Cuatrec.), acompañadas de especies de menor altura de estratos arbustivos o hierbas como *Berberis goudotii* Triana & Planch. o *Berberis rigidifolia* Kunth (uña de gato), chite (*Hypericum* sp.), frailejones (*Espeletia* sp.), Puya sp. y *Loricaria complanata* (Sch. Bip.) Wedd.

Las especies acompañantes y arbustivas de mayor porte se ubican de la misma forma que en el módulo II (Fig 9).

Módulo I.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					

Figura 9 Módulo I.

Módulo II

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					

Fig. 10 Módulo II

Módulo III

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					

Fig. 11. Módulo III

Especies vegetales de Módulos I, II, III.

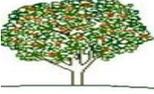
Icono	Nombre científico	Icono	Nombre científico
	<i>Ageratina sp.</i>		<i>Loricaria complanata</i>
	<i>Baccharis macranta</i>		<i>Lupinus bogotensis</i>
	<i>Berberis rigidifolia</i>		<i>Macleania rupestris</i>
	<i>Bucquetia glutinosa</i>		<i>Miconia squamulosa</i>
	<i>Cletra fimbriata</i>		<i>Morella parvifolia</i>
	<i>Diplostegium rosmarinifolium</i>		<i>Myrisne guianensis</i>
	<i>Duranta mutissi</i>		<i>Pentacalia pulchellus</i>
	<i>Escallonia myrtilloides</i>		<i>Puya goudotiana</i>
	<i>Hesperomeles goudotiana</i>		<i>Vallea stipularis</i>
	<i>Hypericum juriperinum</i>		<i>Tibouchina grossa</i>

Figura 12. Simbología de las especies.

DESCOMPOSICIÓN DE ACÍCULAS Y TOCONES

9.2. BARRERAS ECOLÓGICAS

Los incendios forestales, el viento, las heladas y la presencia de sistemas pecuarios adyacentes al área del proyecto, son factores tensionantes del desarrollo de procesos sucesionales y por ende, pueden llegar a definir el éxito de las estrategias de restauración.

En el área perimetral de las plantaciones, una vez realizado el aprovechamiento forestal se establecerá un arreglo florístico conformado por *Hypericum juniperinum* Kunth (Chite) y *Bejaria resinosa* Mutis ex L. f.(pegamosco), que además de constituir barreras ecológicas, presentan alta tolerancia a suelos ácidos y con problemas de erosión, como los que se encuentran en áreas que fueron ocupadas por plantaciones forestales exóticas. Las especies se plantan al tresbolillo, a una distancia entre individuos de 1 x 1 m, siguiendo las curvas de nivel de la pendiente, en donde el chite (*Hypericum juniperinum* Kunth) será la especie fronteriza entre el área de restauración y el área adyacente, ya que esta especie posee una toxicidad en su follaje que impide el ramoneo por parte del ganado y por ende su ingreso área del proyecto; en la tercera línea se pueden plantar individuos de la especie de *Bejaria resinosa* Mutis ex L. f.(pegamoso), que además de soportar fuertes heladas y servir de barrera cortaviento, es una especie precursora de matorrales bajos de bosque altoandino (Salamanca & Camargo 2002; Barrera et al 2010).

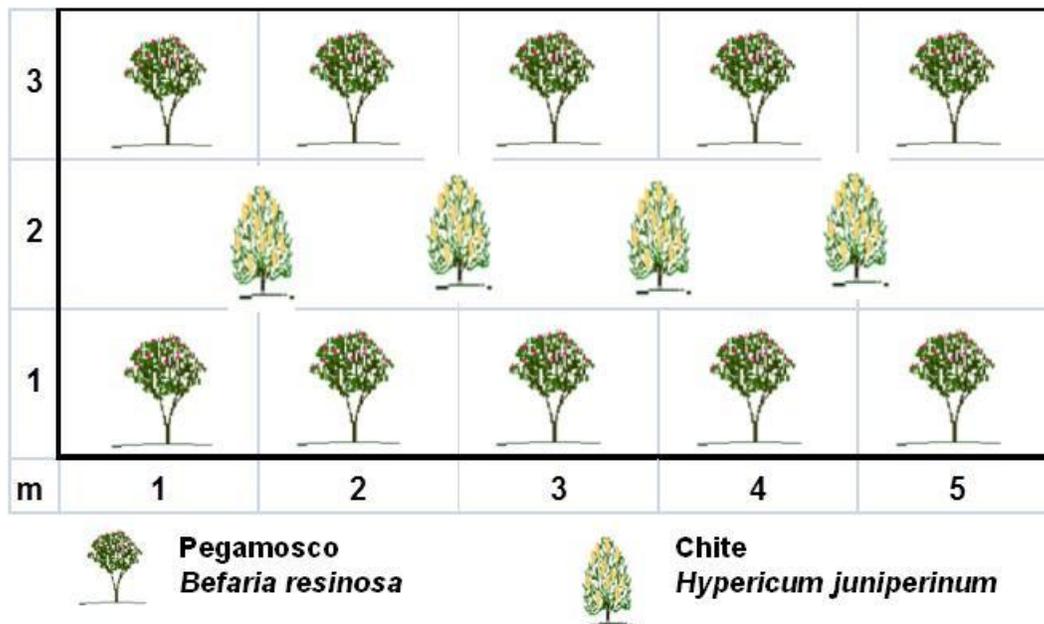


Fig. 16. Ejemplo de una barrera ecológica conformada por las especies *Hypericum juniperinum* Kunth (Chite) y *Bejaria resinosa* Mutis ex L. f.(pegamoso).

10.RESTAURACIÓN DE HÁBITAT DE LA FAUNA

Se entiende como el conjunto de técnicas que se aplican para restablecer las condiciones que requiere una población o grupo de especies de fauna en particular. Se fundamentan en la manipulación o manejo de algunas condiciones del hábitat como la disponibilidad de refugios, disponibilidad de agua y alimento y en las condiciones de movilidad, para facilitar que la fauna recolonice un área degradada de la cual se excluyó. Un ejemplo de técnicas de restauración de hábitats para la fauna son las perchas artificiales.

Perchas artificiales

En zonas abiertas, potreros, zonas intervenidas o degradadas, los árboles remanentes (perchas naturales) juegan un papel muy importante para la avifauna al funcionar como zonas de percha, refugio, descanso entre vuelos, zonas de alimentación y lugares para la defecación, siendo este último un factor muy importante en procesos de restauración, ya que por medio de esta se ve incrementada notoriamente la lluvia de semillas y el crecimiento de propágulos en las zonas de influencia de la percha (Reis & Tres 2008), pero en zonas a restaurar en donde no existen perchas naturales, es necesaria la implementación de estructuras artificiales que imiten posaderos naturales y atraigan a grupos de aves dispersoras (Tres 2006, Bechara 2006, Espindola 2005).

Muchas especies pioneras son dispersadas por animales (zoocoria) y dentro de estas las aves son de extremada importancia, siendo uno de los grupos de fauna que mayor eficacia tiene en la dispersión de semillas (Reis *et al.* 2003).

En cuanto diseño de las perchas, se han desarrollado diferentes diseños, por ejemplo Bechara (2006) instaló 24 perchas/ha, tipo cipo 12 de cabos múltiples; Oliveira (2006) instaló 9 perchas artificiales en una zona plantada y otras 9 en una zona sin plantar. Reis y colaboradores (2007) colocaron dentro de áreas degradadas seis perchas artificiales y utilizaron colectores permanentes de semillas. Vicente y colaboradores (2009) instalaron un total de 12 perchas artificiales con sus respectivas trampas de semillas a una distancia de 30 m una de otra, en 4 líneas a distintas distancias del fragmento de bosque. Por último, Ronchi (2013) instaló 20 perchas artificiales secas en un área de 750 m² degradada (post-tala) dispuestos en cuatro filas a una distancia de 5 m cada una. La altura de las perchas fue de 2 m.

La altura de las perchas osciló entre los 2 m y los 6 m y los diseños pueden variar dependiendo del tipo de aves que se pretende atraer o de los objetivos de restauración que se tengan, encontrando perchas secas hechas con ramas, bambú, varas, palos secos, en forma de T, de conos, cepos y cuerdas múltiples (Ronchi 2013, Vicente *et al.* 2009, Reis & Tres 2008, Bechara 2006, Tres 2006, Ferreira 2006, Espindola 2005, Reis *et al.* 2003).



Figura 14. Perchas elaboradas con productos no forestales de la tala.

11. RESTAURACIÓN ENFOCADA AL COMPONENTE SUELO

Una de las estrategias más importantes para el desarrollo de un proyecto de restauración integral, es la estabilización y rehabilitación del suelo, ya que este componente es el sustento fundamental para el establecimiento de la vegetación (Miranda, 2009). El programa de restauración ecológica del suelo se enfoca en el desarrollo de prácticas preventivas de los posibles impactos del proyecto sobre la estabilidad del área y la afectación de los cuerpos hídricos; así mismo, busca disminuir la influencia de los factores tensionantes y limitantes asociados a la plantación forestal. Los pasos a tener en cuenta dentro este programa son: **i)** geotecnia preliminar; **ii)** manejo de capa superficial, y **iii)** geotecnia definitiva.

Geotécnica preliminar

Gran parte de las áreas ocupadas por plantaciones forestales exóticas se localizan sobre pendientes fuertes (mayores a 50%) en donde se presentan una gran cantidad de procesos erosivos. La principal causa de los problemas de erosión y deslizamientos en masa es la presencia de aguas superficiales y subterráneas; por lo tanto, es necesario establecer una serie de técnicas preventivas para evitar procesos de desestabilización y aporte de sedimentos a los cuerpos hídricos producto del desarrollo del proyecto, específicamente en la fase de aprovechamiento forestal (Fig. 15).



Figura15. Procesos erosivos en una plantación de *Pinus patula*

Obras de estabilización

En áreas donde la pendiente es mayor al 50% o se manifiestan graves procesos de erosión, es necesaria la construcción de trinchos para la contención, sostenimiento y estabilización del terreno; este tipo de estructuras tienen la propiedad de mejorar las condiciones de humedad y retención de nutrientes del suelo. Además, genera micro ambientes adecuados para el establecimiento y germinación de semillas como parte de la sucesión natural.

Los **trinchos** son estructuras horizontales, elaborados generalmente en madera o bambú o de ser posible con los residuos del aprovechamiento forestal, soportados por estacas que tienen como objetivo impedir la formación o profundización de surcos y cárcavas, ya que previene el movimiento de sedimentos en el terreno (Martínez *et al.*, 2008). Existen diversas dimensiones para la construcción de los trinchos; sin embargo, a manera de ejemplo en la Fig. 14 se presenta un trincho constituido por un tablero de 1,8 m de altura y estacones de madera rolliza de 0,15 m de diámetro y 2,6 m de largo, fijados al suelo a una profundidad de 0,8 m, en los cuales se clavan tablas de 3,0 m de largo por 0,25 cm de ancho. Los estacones se apoyan sobre estructuras denominadas pie de amigo, que consisten en piezas de madera rolliza de 2 m de largo, separados uno de otro a 1,5 m; su base es soportada por una estaca de 10 cm de diámetro por 6 cm de largo. Estas estructuras están contenidas por tortones o alambrones de calibre 12, los cuales se sujetan al estacón y a una estaca enterrada en el suelo, de 60 cm de largo por 10 cm de diámetro (Martínez *et al.*, 2008).



Fig. 16. Aspecto de un trincho establecido en un área con pendiente fuerte.

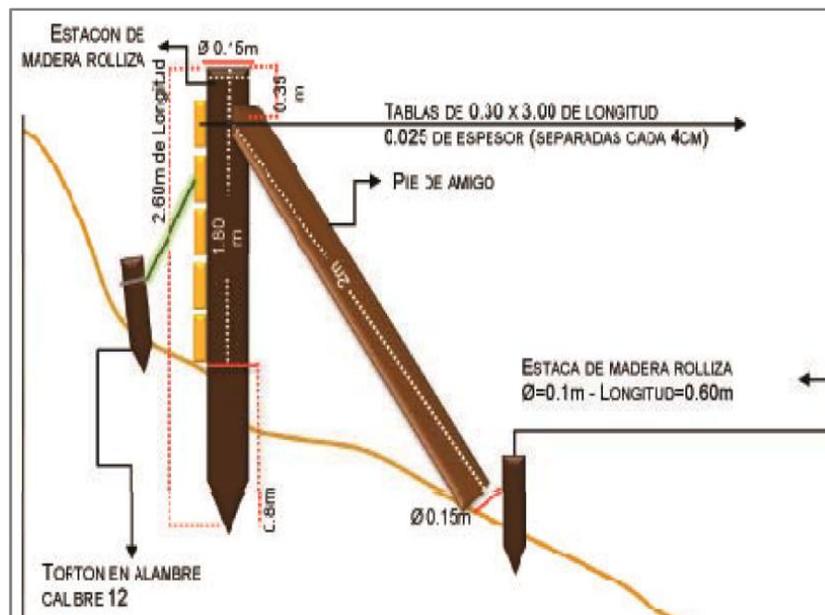


Figura17. Diagrama que muestra las características de dicha estructura

Las **barrera de saco suelo**, son otro tipo de defensa física para evitar procesos de socavación y aporte de sedimentos a quebradas, caños y ríos. Se construyen colocando costales de fibra natural con capacidad de almacenaje en promedio de $0,045 \text{ m}^3$ ($0.5 \times 0.6 \times 0.15 \text{ m}$), los cuales se rellenan con suelo y se sellan para evitar que el relleno se pierda. Los sacos son apoyados por estacones de aproximadamente 2,5 m de longitud y 0,15 m de diámetro (Martínez *et al.*, 2008) (Figura16).

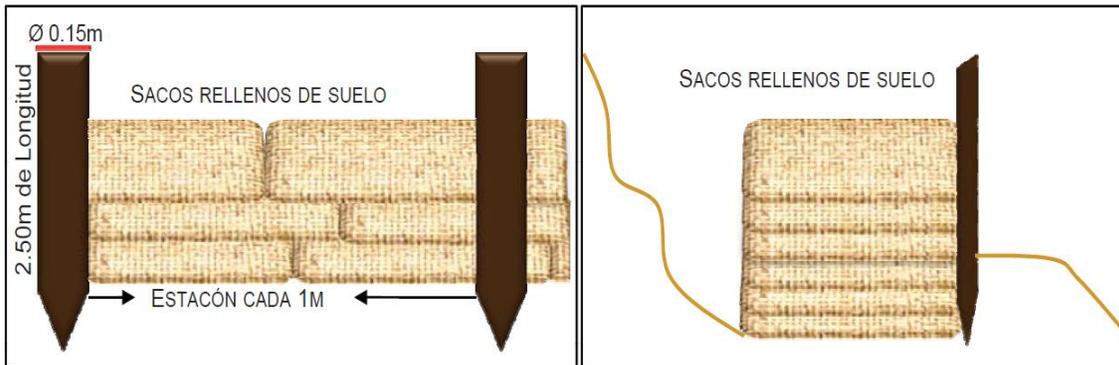
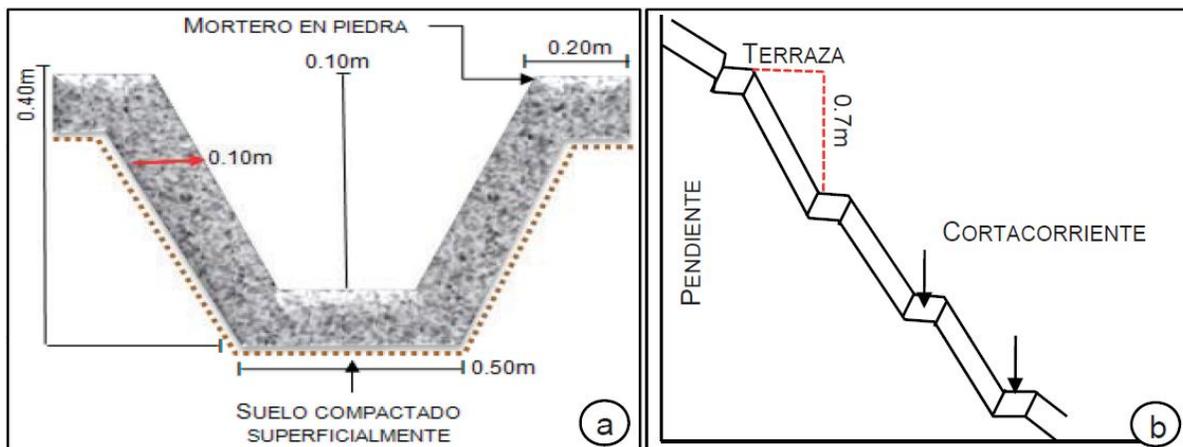


Figura 18. Ejemplo de una barrera de suelo

Obras para el manejo de aguas

Las obras que se describen a continuación tienen como objetivo controlar el efecto de la escorrentía, para lo cual es importante tener en cuenta las características de la lluvia, la topografía del área de la plantación, la infiltración y los procesos de erosión. Además, estas obras deben ser diseñadas con secciones y pendientes suficientes, que puedan impedir la concentración de agua, principal causa de la formación de cárcavas.

Los **canales o zanjas** de infiltración son estructuras que captan la escorrentía y la conducen lateralmente. Se construyen en piedra o en sacos rellenos de suelo-cemento en diferentes proporciones (Fig. 17); y además se acompañan con la construcción de **disipadores de energía**, es decir, pequeños desniveles en el canal, que permite reducir la velocidad del agua (Fig. 18) (Martínez *et al.*, 2008).



Figuras 19 y 20. Canales de infiltración a). Ejemplo de dimensiones para su construcción. b). gráfico de distribuciones de los contracorrientes.

Los **sedimentadores** son muros de un (1) m de altura, elaborados a partir de arrumes de piedra, revestidos en geotextil, los cuales se ubican sobre el lecho de quebradas y ríos con el objetivo de retener los materiales arrastrados por el agua y en suspensión (Fig. 19). Para este tipo de construcciones se recomienda tener en cuenta que los sedimentos deben removerse de la represa cuando el volumen libre se ha reducido a 0,6 m. (Martínez *et al.*, 2008).



Figura 21. Imágenes de diferentes tipos de sedimentos (Garzón, 2007)

El material retenido en las obras de contención (trincho y sacos de suelo) y manejo de agua (sedimentadores), deben ser retirado periódicamente, de acuerdo a la cantidad acumulada. Al finalizar el proceso de aprovechamiento forestal, los trinchos, sacos de suelo y zanjas de infiltración deberán ser reforzados o retirados en el proceso de geotécnia definitiva. Por su parte, los sedimentadores deben ser demolidos al finalizar la fase de implementación de estrategias de restauración.

Manejo de la capa superficial del suelo

El suelo en las áreas ocupadas por plantaciones forestales exóticas presenta altos niveles de alteración. Por lo tanto, para el desarrollo de procesos de restauración ecológica en dichas áreas, es necesario realizar una serie de acciones encaminadas a mejorar el estado en que se encuentra la capa superficial del suelo u horizonte cero (0), en donde se acumula toda la materia orgánica (tallos, hojas, raíces, animales en descomposición y residuos vegetales) y se realizan los procesos de descomposición de la misma (Gliessman, 2002).

La primera acción a desarrollar en este programa, consiste en retirar un volumen considerable de hojarasca producida por los individuos de la plantación forestal, ya que en estas áreas se crean unos colchones de hojarasca, con altos contenidos de resinas, grasas, ligninas y compuestos fenólicos que incrementan el pH del suelo, ocasionando un cambio en la composición de fauna edáfica, producto de la disminución en la oferta de recursos para bacterias y lombrices, y un incremento en los recursos disponibles para proliferación de hongos. Esto genera una disminución en la tasa de descomposición de la materia orgánica y fertilidad del suelo (Rivera *et al.*, 2009). Cabe mencionar que la extracción de la hojarasca no debe ser del 100%; se recomienda dejar una fina capa que sirva de para amortiguar el efecto de la gota de lluvia.

Cuando los resultados del análisis del suelo indiquen una disminución en el pH, comparada con el área de referencia, se recomienda aplicar enmiendas calcáreas para su neutralización, tales como: calcio, dolomita, hidróxido de calcio y óxido de calcio. Este tipo de técnica denominada encalado, además de remediar el problema de la acidez, permite el establecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno y la acción de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica (Lema & Rodríguez, 2006, Bernier & Alfaro, 2006).

Adicionalmente, se recomienda suministrar al sistema elementos que permitan mejorar las condiciones edáficas, a partir de la fertilización inorgánica y orgánica. La fertilización orgánica, buscan incrementar la concentración de los nutrientes del suelo, tales como nitrógeno, fósforo y potasio, a través de la aplicación de fertilizantes químicos que contengan estos compuestos (Miranda, 2009).

La fertilización orgánica hace referencia al suministro de materia orgánica al suelo. Es la técnica más apropiada, ya que a través de su implementación se inicia el proceso de recuperación integral de las características fisicoquímicas del suelo, mejora su capacidad de retención de agua, disminuye la escorrentía superficial, potencializa la germinación y reclutamiento de las plántulas (Miranda 2009). Para llevar a cabo la fertilización orgánica se pueden emplear diferentes tipos de enmiendas como compost, mulches o mantillo y abonos (Barrera, 2009; Miranda, 2009).

Geotécnica Definitiva

En áreas ocupadas por plantaciones exóticas donde la pendiente es fuerte (mayor a 50%) y/o se presentan problemas erosivos severos, es necesario efectuar estudios e implementar obras de geotecnia definitivas, las cuales buscan estabilizar el terreno a partir del manejo de las aguas superficiales, el control de cárcavas y zonas de derrumbe (Martínez *et al.*, 2008).

El procedimiento inicia con la reducción de la pendiente a partir de la construcción de una serie de **terrazas vivas**, que además de controlar la erosión, facilitan el establecimiento de la vegetación. Se localizan en sentido de la pendiente, formando balcones escalonados que pueden variar entre 5 y 7 m; posteriormente, estos balcones son revestidos de cobertura vegetal (Sotir, 2001; Rivera & Sinisterra, 2006). Además, cada terraza cuenta con un cortacorriente o canal transversal a la pendiente, el cual se protege contra la erosión, por medio de sacos de fibra natural rellenos de suelo (Fig. 20) (Martínez *et al.*, 2008).



Figura 22. Estructura de las terrazas vivas. a. Dimensiones de un cortacorriente. b. Imagen del establecimiento de terrazas y la construcción de contracorriente

Los cortacorrientes transportan el agua de escorrentía hasta un **canal colector** recubierto de sacos de fibra natural rellenos con suelo; los cuales se construyen siguiendo las rutas de las cárcavas naturales. Los canales deben recoger máximo el agua de 10 cortacorrientes. Sumado a lo anterior, es necesario que cada canal colector cuente con disipadores de energía, con el fin de reducir la fuerza del agua colectada (Fig. 21) (Martínez *et al.*, 2008).



Figura 23. Imagen de un colector para recoger el agua que llega a los cortacorrientes

En áreas que presentan problemas erosivos fuertes como cárcavas y derrumbes, se deben instalar muros de gaviones en piedra, los cuales constituyen estructuras flexibles y permeables elaboradas a partir de cajones de malla de alambre galvanizado de 2 mm de diámetro y calibre 11 de triple torsión; con huecos hexagonales que no superan los 10 cm de abertura, los cuales deben ser llenados con piedras resistentes y estables, de diferentes tamaños y formas. Su instalación requiere profundizar el área de la cárcava buscando un terreno firme para su cimentación; adicionalmente, se recomienda que la superficie del terreno quede nivelada para evitar posibles volcamientos de la estructura, al soportar las cargas producidas por el material que retendrá (Martínez *et al.*, 2008).



Figura 24. Imagen de un gavión de piedra.

Establecidas las obras de geotecnia definitiva, se requiere del control y mantenimiento de las estructuras a lo largo de la ejecución del proyecto, ya que el deterioro de las obras impide que estas cumplan su función y pueden generar mayores procesos erosivos.

12. PROGRAMA DE MONITOREO EN UN ÁREA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

El monitoreo de un área en proceso de restauración se desarrolla para evaluar en qué medida se están cumpliendo los objetivos y las metas que se plantearon al comienzo del proceso (Yoccoz et al. 2001 en Aguilar & Ramírez 2014). El monitoreo provee también información sobre costo – beneficio de la implementación de los proyectos de restauración y estima la eficiencia de la inversión; esto es clave para la toma de decisiones por parte de las entidades que implementan la restauración, los actores sociales y entidades ambientales de la región, para quienes es importante conocer el balance entre las metas de conservar y restaurar.

Deben plantarse metas de corto, mediano y largo plazo que permitan evaluar los avances del proceso de restauración ecológica y plantear medidas adaptativas para implementar cuando el ecosistema lo requiera. A continuación se plantean las metas de corto mediano y largo plazo para la estrategia de restauración del áreas de plantaciones I y II de la Vereda San Antonio.

Tabla 5. Metas a corto mediano y largo plazo.

META A CORTO PLAZO	OBJETIVOS
Establecer estrategias de restauración ecológica que permitan la sustitución de plantaciones forestales de <i>Pinus patula</i> Schlttdl. & Cham., por comunidades	Establecer una cobertura vegetal del 30% del área total del aprovechamiento forestal por especies nativas, por medio del establecimiento de módulos de vegetación.

META A CORTO PLAZO	OBJETIVOS
<p>vegetales propias de las etapas tempranas de la sucesión de una zona de transición o ecotono entre bosque altoandino y Páramo y una franja de Páramo en la Vereda de San Antonio.</p>	<p>Implementar perchas artificiales para incentivar la visita frecuente de la avifauna nativa, con el fin de aumentar la dispersión y establecimiento de semillas de áreas naturales adyacentes.</p>
	<p>Implementar una barrera de vegetación nativa para evitar la llegada de especies invasoras y la propagación de incendios.</p>
META A MEDIANO PLAZO	OBJETIVOS
<p>Consolidar un sistema ecológico de matorral secundario propio de zona de transición entre bosque altoandino y páramo, producto del avance en los procesos de restauración ecológica de un área disturbada por el aprovechamiento de plantaciones forestales de <i>Pinus patula Schltld. & Cham.</i></p>	<p>Implementar estrategias de mejoramiento de hábitat que permitan la colonización y establecimiento de especies de flora y fauna propias de un bosque altoandino.</p>
	<p>Incrementar la complejidad estructural de la comunidad vegetal a partir de la plantación de especies de etapas tardías serales de la sucesión.</p>
META A LARGO PLAZO	OBJETIVOS
<p>Restauración ecológica de la zona de transición entre el bosque altoandino y páramo, disturbado por el establecimiento de plantaciones forestales de <i>Pinus patula Schltld. & Cham.</i></p>	<p>Restablecer la estructura y composición de la comunidad vegetal propia de un bosque altoandino maduro, disturbado por el establecimiento de plantaciones forestales exóticas de <i>Pinus patula Schltld. & Cham.</i></p>
	<p>Recuperar la estructura, composición y función del componente faunístico de un bosque altoandino maduro disturbado por el establecimiento de plantaciones forestales exóticas de <i>Pinus patula Schltld. & Cham.</i></p>
	<p>Restablecer la dinámica hídrica alterada por el establecimiento de plantaciones forestales exóticas de <i>Pinus patula Schltld. & Cham.</i> y de esta forma recuperar este servicio ecosistémico.</p>
	<p>Restablecer la dinámica de ciclaje de nutrientes alterada por el establecimiento de plantaciones forestales exóticas de <i>Pinus patula Schltld. & Cham.</i></p>

Las metas de restauración son pasos concretos que se toma para lograr los propósitos finales del proceso de restauración y en sus plazos llevan al cumplimiento de los objetivos. Deben tener un lapso de tiempo para ser alcanzadas (corto, mediano y largo plazo) y con determinadas características claramente verificables. Estas características se determinan a partir de *criterios* que definen y estructuran aspectos del ecosistema que pueden ser medibles y comparables con un ecosistema conservado o de referencia.

Los *criterios* se deben evaluar a partir de *indicadores* , los cuales representan una forma cuantificable de la estructura, la composición, la función y los aspectos socioeconómicos que ocurren e inciden en las áreas en proceso de restauración. Cada valor del indicador se obtiene mediante mediciones, observaciones o registros que se denominan *cuantificadores* .

En la tabla 6 se presenta una serie de criterios, indicadores y cuantificadores para los siguientes componentes del ecosistema: vegetación, avifauna suelo y socioeconómicos.

Tabla 6. Línea de monitoreo al proyecto de Restauración Ecológica de áreas con aprovechamiento forestal de *Pinus patual*

Componente	Criterio	Indicador	Cuantificador
VEGETACIÓN	Composición	Composición	Número de especies
		Origen	Nativa / exótica
	Estructura	Densidad de individuos	Número de individuos por unidad de área (#ind.)
		Desarrollo del tallo	Incremento diamétrico (cm)
		Crecimiento vertical	Incremento en altura (cm)
		Ocupación del espacio	Incremento en cobertura de la copa
	Función	Estado fitosanitario	Síntomas sanitarios o afecciones físicas
		Forma de crecimiento	Valor de existencia
		Fenología	Valor de existencia
AVIFAUNA	Composición	Abundancia relativa	Tasa de cambio de la abundancia relativa
		Riqueza específica	Tasa de cambio de la riqueza
	Estructura	Machos y hembras en la población	Número de machos y hembras
		Diversidad / equidad	Tasas de cambio en el índice de diversidad
	Función	Anidación	Número de nidos
			Tasa de cambios en la abundancia de nidos
		Grupos alimenticios	Número de grupos alimenticios diferentes
Tasa de cambio en proporción de grupos alimenticios			
SUELO	Físicos	Textura del suelo	% de arena, limo y arcilla

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Rescate de plántulas			X	X	X	X	X	X	X	X	X																					
Compra de material vegetal							X	X	X	X																						
Demarcación de módulos					X	X	X	X	X	X	X																					
Plateo y ahoyado					X	X	X	X	X	X	X	X	X																			
Abono (aplicación de CAL) - hidroretenedor						X	X	X	X	X																						
Siembra de material vegetal										X	X	X	X	X																		
Diseño de perchas y refugios					X	X																										
Construcción e instalación de perchas									X	X	X	X	X																			
Construcción e instalación de refugios													X	X	X	X																
Control fitosanitario																	X	X	X						X	X						
I Monitoreo a material vegetal																											X	X				
Replante por mortalidad																											X	X				X

15. BIBLIOGRAFIA

Aguilar M & W. Ramírez. Elaboración de un proyecto de restauración ecológica para los páramos. En: Cabrera M. & Ramírez W. 2014. Restauración Ecológica de los Páramos de Colombia. Transformación y Herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C. Colombia. 296 pp.

Aronson, J., D. Renison, O.-Ch. Rangel, S. Levy-Tacher, et al. 2007b. Restauración del Capital Natural; Sin reservas no hay bienes y servicios. *Ecosistemas* 16(3): 15-24.

Aronson, J., J.N. Blignaut, S.J. Milton & A.F. Clewell. 2006. Natural capital: the limiting factor. *Ecological Engineering*. 28:1-5.

Aronson, J., S. Milton & J. Blignaut (Eds.). 2007a. Restoring natural capital: Science, business, and practice, Island Press, Washington, D.C.

Barrera, J. 2009. Barreras al establecimiento natural y a la restauración ecológica de áreas afectadas por minería a cielo abierto. Págs: 35-44. En: Barrera-Cataño, J.I., S. Contreras-Rodríguez, A. Ochoa-Carreño, S.C. Perilla-Castro, N. Garzón-Yepes y D.C. Rondón-Camacho (eds.). Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C.

Barrera, J.I. & C. Valdés C. 2007. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum Edición Especial II*, 12:11- 24.

Barrera, J.I. 2008. Modelos teóricos y experimentales en ecología de la restauración. Págs.: 23-36

Barrera-Cataño, J.I., C. Valdés-López, A.C. Moreno-Cárdenas, A. Cárdenas, A. Clavijo & V. Curso. 2008. Estrategias de restauración ecológica en la microcuenca Santa Helena (vereda El Hatillo), municipio de Suesca, departamento de Cundinamarca-Colombia. Págs.: 185-197 en: Barrera-Cataño, J.I., M. Aguilar & D.C. Rondón-Camacho (eds.). Experiencias de restauración ecológica en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 274 pp.

Barrera-Cataño, J.I., S.M. Contreras-Rodríguez, N.V. Garzón-Yepes, A.C. Moreno-Cárdenas & S.P. Montoya-Villarreal. 2010. Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Degradados del Distrito Capital. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Bogotá, Colombia. 394 pp.

Bernier, R. & M. Alfaro. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Instituto de investigaciones agropecuarias, INIA. Osorno, Chile. Boletín No.151, 46 pp.

Brown, S. & A.E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: A key to Sustaining development.

Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

Cook, M. & J. Hollifield. 1998. Erosion control on the Nantahala-Marble transmission line. IECA soil stabilization series. Vol. 6. Strategies and practices for making best management practices work.

dynamics. *Progress in Botany* 62: 399

ecológica en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 274 pp.

en: Barrera-Cataño, J.I., M. Aguilar & D.C. Rondón-Camacho (eds.). Experiencias de restauración

En: Vargas, O. (ed.). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino.

Fundación Natura. S. f. Caracterización y diagnóstico de los páramos y bosques de roble de Guantiva La Rusia. Fundación Natura Colombia. Bogotá, D. C., Colombia.

García, N., E. Calderón y G. Galeano. 2005. Frailejones. En: Calderón, E., G. Galeano y N. García (eds.). Libro rojo de plantas fanerógamas de Colombia. Volumen 2: palmas, frailejones y zamias. Serie Libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D. C., Colombia.

Gliessman, S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. 359 pp.

Hernández-A., M. y J. O. Rangel-Ch. 2002. Vegetación del páramo de la Rusia Duitama- Boyacá. En: Memorias del Congreso mundial de páramos. Estrategias para la conservación y sostenibilidad de sus bienes y servicios ambientales. Paipa, Boyacá.

Herrera, J.M. 2011. El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas* 20 (2): 21-34.

Hobbs R.J. & D.A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology.

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para

Kuchler A.W 1966. Analyzing the physiognomy and structure of vegetation. *Annals of the Association of American Geographers*, 1, (56): 112 -127.

Lema, M. & P. Rodríguez. 2006. Encalado de suelos ácidos. Aluminio como criterio. Respuesta de la cebada. *Revista Agropecuaria*. 75: 784- 791.

Manrique, O. 2004. Guía técnica para la restauración ecológica en áreas con plantaciones forestales exóticas en el Distrito Capital. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 94 pp.

Martínez, G., E. Forero & F. Rangel. 2008. Procedimiento para la realización de geotecnia preliminar y definitiva en líneas de flujo. ISMOCOL de Colombia S.A. Documento CONS 033. 30 pp.

Miranda, B. 2009. Estrategias para la restauración del componente suelo en áreas afectadas por minería. Pp. 161 – 173. En Barrera, J., S. Contreras, A. Ochoa, C. Perilla, N. Garzón & D. Rondón (eds.) 2009. Restauración Ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Morales M., Otero J., Van der Hammen T., Torres A., Cadena C., Pedraza C., Rodríguez N., Franco C., Betancourth J.C., Olaya E., Posada E. y Cárdenas L. 2007. Atlas de Páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p.

OIMT & UICN 2005. Restaurando el paisaje forestal: introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. En Serie Técnica OIMT No. 23. 160 pp.

Picket, S. & White, P. 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo and Toronto : 3 - 124.

Rangel J.O. & Velásquez A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación, en J.O. Rangel, P.D. Lowey y Aguilar, M. Colombia – Diversidad Biótica II. Bogotá.

Renjifo, L. M., A. M. Franco-Maya, J. D. Amaya-Espinel, G. H. Kattan y B. López-Lanús (eds.). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, D. C., Colombia.

Restoration Ecology 2(2):97-111.

Restoration ecology 4:93 - 110.

Rivera D. & C. Pinilla. 2014. Transformación de los páramos en Colombia. En: Cabrera M. & Ramírez W. 2014. Restauración Ecológica de los Páramos de Colombia. Transformación y Herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C. Colombia. 296 pp.

Rivera, D. & C. Rodríguez. 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Rivera, D. 2001. Páramos de Colombia. Libros de colección ecológica del Banco de Occidente. IM-Editores.

Rivera, H. & J. Sinisterra. 2006. Uso social de la bioingeniería para el control de la erosión severa. Fundación Cipav. Valle del Cauca. 110 pp.

Society for Ecological Restoration (SER). 2004. Principios de SER Internacional sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International. 16 pp

Sotir, R. 2001. Slope Stabilization and Restoration. Soil Stabilization Series, Volume 17, Slope Stabilization. 32 pp.

Universidad Nacional. Grupo de Restauración Ecológica. Bogotá, D.C.

Vargas, O. 2007. Guía metodológica para la restauración de áreas invadidas por retamo espinoso.

White, P.S. & A. Jentsch. 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem